ELEKTRIE

ELEKTRIE 11|90

Verlag Technik GmbH • Postverlagsort für DDR Leipzig • ISSN 0013-5399

Aufgabenspezifischer Überspannungsschutz

...MIT SICHERHEIT DEHN.

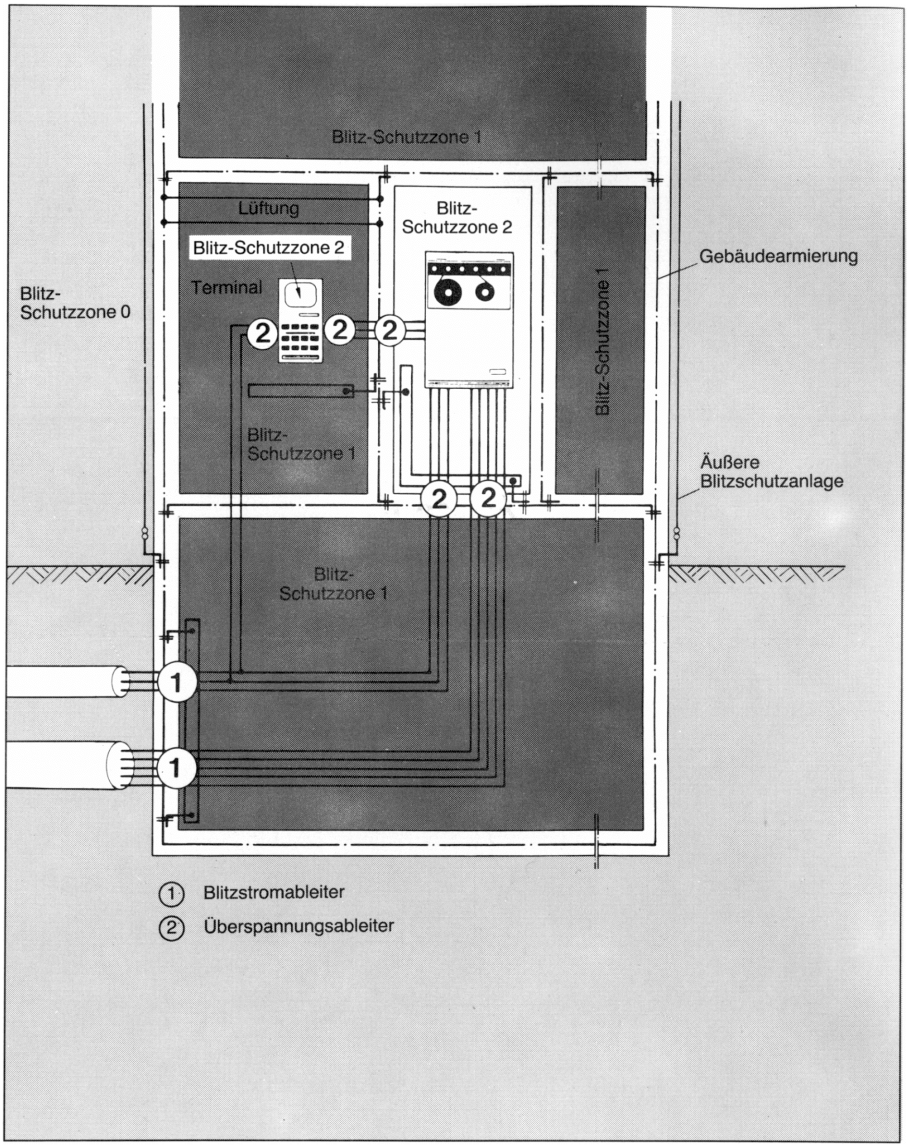
"EMV-BLITZ-SCHUTZZONEN"
— MEHR ALS "ÜBERSPANNUNGSSCHUTZ IM SYSTEM"

Überspannungen an elektrischen Geräten und elektronischen Anlagen, die durch Blitznah- oder -ferneinschläge, wesentlich häufiger aber durch Schalthandlungen entstehen, verursachen unverhältnismäßig große Schäden, besonders was die Folgekosten betrifft.

3 Gründe sind hierfür verantwortlich:
- die Ausweitung informationstechnischer Netze durch die zunehmende Abhängigkeit von Industrie- und Dienstleistungsbetrieben von der elektronischen Datentechnik,
- die zunehmende Empfindlichkeit der verwendeten Bauteile Unregelmäßigkeiten in der Stromversorgung
- die Tatsache, daß elektromagnetische Felder und leitungsgeführte Überspannungen elektronische Anlagen bis zu einer Entfernung von etwa 1 km um den Blitz-einschlagsort gefährden.

Das **EMV-Blitz-Schutzzonen-Konzept** betrachtet das zu schützende Volumen, z. B. ein Rechenzentrum, als eine Einheit, die mit allen Möglichkeiten des Äußeren und Inneren Blitzschutzes vor schädlichen Einwirkungen durch atmosphärische Entladungen oder Überspannungen aus Schalthandlungen geschützt wird.

Am Beispiel eines Gebäudes mit Computeranlage ist schematisiert gezeigt, wie die Blitz-Schutzzonen durch die Äußere Blitzschutzanlage und durch das Abschirmen von Räumen und Geräten gebildet werden.



In der EMV-Blitz-Schutzzone 0, also im Bereich außerhalb des Gebäudes, treten direkte Blitzeinschläge und hohe elektromagnetische Felder auf.

Nach innen nimmt die Gefährdung hinsichtlich leitungsgebundener Störungen und elektromagnetischer Feldeinwirkungen von Zone zu Zone ab.

An der Schnittstelle zwischen EMV-Blitz-Schutzzone 0 und EMV-Blitz-Schutzzone 1 sind alle von außen kommenden Leitungen in den Blitzschutz-Potentialausgleich einzubeziehen. Betriebsmäßig spannungsführende Leitungen werden mit Blitzstromableitern (DEHNVENTIL®, BEE-Schutzkarten) beschaltet.

Bei jeder weiteren Zonenschnittstelle innerhalb des zu schützenden Volumens ist ein weiterer örtlicher Potentialausgleich einzurichten, in den alle metallenen Leitungen und Installationen, die diese Zonen-Schnittstelle durchdringen, einbezogen werden: Hier werden Überspannungsableiter (entsprechend der Zonengefährdung) eingesetzt.

Schließlich sind die örtlichen Potentialausgleichsschienen untereinander und mit der Blitzschutz-Potentialausgleichsschiene zu verbinden.

Damit sind alle Systeme und Geräte in dem zu schützenden Volumen zuverlässig geschützt, weder Blitzeinschläge noch Überspannungen können Schäden anrichten.

Nur DEHN + SÖHNE bietet ein vollständiges Lieferprogramm für das EMV-Blitz-Schutzzonen-Konzept in seiner Gesamtheit an. Unsere Komponenten, von Bauteilen für den Äußeren Blitzschutz bis zu Überspannungsschutzgeräten zum Einbau direkt in das zu schützende Gerät, sind in ihrer Schutzwirkung aufeinander abgestimmt.

Fordern Sie unser neuestes Informationsmaterial über das Blitzschutzzonen-Konzept an.

NAME

FIRMA

ABTEILUNG

STRASSE

PLZ/ORT

TELEFON

DEHN + SÖHNE
GMBH + CO.KG
ELEKTROTECHNISCHE
FABRIK

ABT. MKT EB
HANS-DEHN-STRASSE 1
D-8430 NEUMARKT/OPF.
TELEFON: (09181) 906-0
TELEFAX: (09181) 906-100

...MIT SICHERHEIT DEHN.

ISSN 0013-5399
44. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ELEKTRIE 11/90

Redaktionsbeirat
Vorsitzender:
Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:
Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. e. h. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:
Dr.-Ing. K. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild
Wurden vor einigen Jahren, z. B. in Steuerungen, noch robuste Relais eingesetzt, so werden heutzutage immer mehr Halbleiterbauelemente verwendet. Die Zerstörungsenergie dieser Halbleiter ist um ein Vielfaches niedriger als bei vergleichbaren elektromechanischen Bauelementen.
Überspannungen aus beispielsweise Blitzeinschlägen oder Schalthandlungen führen oft zu Beschädigungen oder Zerstörungen elektrischer/elektronischer Komponenten. Ein wirksamer Schutz gegen solche Schäden ist die Installation von Überspannungsableitern.
Das Titelbild zeigt Überspannungsableiter für die Netz-, MSR- und Datentechnik von PHOENIX-CONTACT, Blomberg – weltweit vertretener Hersteller von Verbindungselementen und Schaltschrankkomponenten.

Verlag Technik GmbH Berlin

INHALTSVERZEICHNIS

Aktuelle Information 402

Zürneck, H.; Altmann, S.
Erfassung tödlicher Stromunfälle und Maßnahmen zur Erhöhung der Elektrosicherheit 403

Altmann, S.
Prof. Dr.-Ing. habil. Friedrich Wilhelm Kloeppel zum 60. Geburtstag 404

Fachaufsätze

Pschunder, Th.
Überspannungsschutz 405

Adler, G.; Franke, K.
Berücksichtigung sicherheitstechnischer Forderungen bei der Zuverlässigkeitsbewertung in Chemieanlagen 409

Junghans, H.
Nutzung des elektrischen Feldes von Starkstrom-Freileitungen für die Entwicklung eines Spannungswarngerätes 413

Jahn, M.; Junghans, H.
Experimentelle Untersuchungen zur Warnsignalgewinnung eines Spannungswarngerätes unter Einsatzbedingungen 417

Kröber, T.; Winkler, H.; Sperling, K.
Elektronisches Warngerät für mobile Arbeitsmaschinen gegen gefährliche Berührungen mit spannungsführenden Leiterseilen 421

Kosel, Th.; Unbekannt, L.; Winkler, H.
Untersuchungen zur Erkennbarkeit von Freileitungssystemen mittels Infrarot-Meßtechnik 426

Haas, H. U.
Der VS-Schutz – ein neues Schutzkonzept für Mittelspannungsschaltanlagen 428

Hasse, P.; Naumann, W.
EMV-Blitzschutzkonzept für Niederspannungs- und Automatisierungsanlagen 432

Modernisierung der Elektroenergieversorgung

10. Fachtagung „Stabile Energieversorgung"
Zeit: 11. Dezember 1990
Ort: Leipzig-Information
Sachsenplatz
O-7010 Leipzig
Veranstalter: Bezirksfachausschuß „Stabile Energieversorgung" Leipzig in Zusammenarbeit mit VDE-Bezirksverein Leipzig und der Energietechnischen Gesellschaft im VDE sowie der KDT

Inhaltliche Schwerpunkte:
- Strategie der Rekonstruktion und Modernisierung von Netzen und Anlagen der Energieversorgung
- Erarbeitung von Pilotlösungen
- Einsatz moderner Software-Tools und deren praktische Vorführung
- Umschulung und Fortbildung

Anfragen
Interessenten melden sich bitte an:
Technische Hochschule Leipzig
Herrn Dipl.-Ing. *E. Schmidt*
Fachbereich Energietechnik
Postfach 66
O-7010 Leipzig
Tel.: 3943161
Die Redaktion EK 4336

XI. Geraer Erdungstagung 1990

Zeit: 12. und 13. Dezember 1990
Ort: Gera
Veranstalter: KAMMER DER TECHNIK e. V.
Die Einführung in das VDE-Vorschriftenwerk auf dem Gebiet der Erdungstechnik ist das Ziel dieser Tagung. Angesprochen sind insbesondere Planungs-, Projektierungs- und Betriebsingenieure, Elektromeister, Techniker, Sicherheitsingenieure und -fachkräfte aus Industrie, Handwerk und Energiewirtschaft sowie von Behörden und Überwachungseinrichtungen. Die Teilnehmer erhalten einen Qualifizierungsnachweis. Eine Firmenrepräsentation ergänzt das Tagungsprogramm.

Tagungsleitung:
Dr.-Ing. *Michael Feydt*
Verbundnetz AG
Institut für Energieversorgung
Zeunerstr. 83a
O-8027 Dresden
Tel.: 0051/46502250

Anfragen
KAMMER DER TECHNIK e. V.
Geschäftsstelle Gera
Bereich W/T
Humboldtstr. 13
O-6500 Gera
Tel.: 0970/23338 u. 23339
Die Redaktion EK 4344

Tagungen der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)

Automatisierung in der Fertigungstechnik
Jahrestagung der WGMA
Zeit: 18.–20. Dezember 1990
Ort: Erfurt, Haus der DSF

Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik
19. Jahrestagung
Zeit: 18.–20. Dezember 1990
Ort: Rostock, Universität

Moderne Rechentechnik
Anwendersymposium
Zeit: 6.–7. 2. 1991
Ort: Berlin

Industrielle Wägetechnik
3. Fachtagung
Zeit: 14.–15. 3. 1991
Ort: Dresden, Haus Kultur und Bildung

Anfragen
WGMA in der KDT
PSF 1315, O-1086 Berlin
Telex: 011 4841 techkammer
Telefax: 2265 256, 2265 296
Die Redaktion EK 4333

2. Berliner UNIX-Forum

Zeit: 11. bis 12. Februar 1991
Ort: ICC Berlin
Veranstalter: IDG World Expo Corporation, Framingham/USA und die UniWare Computer GmbH Berlin

Inhaltliche Schwerpunkte
Informationsvermittlung in den Bereichen
- Standardisierung
- Office-Systeme
- verteilte Systeme
- objektorientierte Programmsprachen

Im Rahmen des 2. Berliner UNIX-Forums wird die Jahrestagung 1991 der EAG-Entwickler und Anwendungsgemeinschaft durchgeführt.

Anfragen
UniWare Computer GmbH
Kantstraße 152
W-1000 Berlin 12
Telefon: 4930/3100 09-246

Die Redaktion EK 4337

Trade Fairs in the USSR

INTERSERVICE '91
Internationale Messe für Einrichtungen und Ausrüstungen in Dienstleistungsbereichen
Zeit: 5.–12. März 1991
Ort: Moskau

MEDITECH '91
Internationale Messe für Medizintechnik, Anlagen und Einrichtungen für Kliniken und Labors sowie Spezialbereiche
Zeit: 8.–14. April 1991
Ort: Moskau

COMBITECH '91
Internationale Messe kombinierter Techniken für Wirtschaft, Forschung und Produktion sowie Technologien für Industrieparks, Joint Ventures
Zeit: 17.–24. April 1991
Ort: Moskau

POLYPACK POLYGRAPHBUM-MASH '91
Internationale Messe für Druck, Papierbe- und -verarbeitung sowie Verpackung – für alle Industriebereiche –
Zeit: 16.–23. Mai 1991
Ort: Moskau

TECHNOLOGY '91
Internationale Messe für zukunftsweisende Technologien im Maschinen- und Anlagenbau, Industrieprojekte, Patente, Lizenzen, Know-how
Zeit: 24.–29. Juni 1991
Ort: Perm

AGROTECH '91
Internationale Messe für Maschinen und Ausrüstungen, Technologien zur Herstellung von Agrochemikalien und biotechnologischen Produkten
Zeit: 20.–28. August 1991
Ort: Moskau

INTERNEPCON MOSCOW '91
Internationale Messe für elektronische Produktionsausrüstungen, Komponenten, Materialien sowie Prüf- und Testeinrichtungen
Zeit: 16.–23. Oktober 1991
Ort: Moskau

FLEXIBLE AUTOMATION '91
Internationale Messe für universelle Fertigungs-, Montage- und Transport-Systeme
Zeit: 21.–29. November
Ort: Moskau

Anfragen
Firma
Glahé International KG
Messe- und Ausstellungsgesellschaft
USSR-Division
Postfach 80 03 49
W-5000 Köln 80 EK 4334

Ineltec 91

15. Internationale Fachmesse für Elektronik und Elektrotechnik
Zeit: 10. bis 13. September 1991
Ort: Basel, Schweiz
Die Ineltec 91 findet statt unter dem Motto: Schnittstelle der Zukunft – dabeisein ist alles!
Einen Kernpunkt bildet die Sonderschau „Energie aus Sonne und Sand". Dazu gehört zum Beispiel die Fotovoltaik, die in den letzten Jahren bezüglich Leistung und Anzahl solarelektrischer Anlagen sprunghaft an Bedeutung gewonnen hat.
Anfragen
Schweizer Mustermesse
Sekretariat Ineltec 91
Postfach
CH-4021 Basel
Die Redaktion EK 4346

Erfassung tödlicher Stromunfälle und Maßnahmen zur Erhöhung der Elektrosicherheit

Unter dieser Thematik veranstalten am 18. 12. 1990 die Lehrstühle Grundlagen der Elektrotechnik der Technischen Hochschulen Darmstadt und Leipzig ein gemeinsames Kolloquium. An beiden akademischen Einrichtungen wird seit Jahren erfolgreiche Arbeit auf diesem Gebiet geleistet. Sie ist eng verbunden mit Leistungen entsprechender Arbeitsgremien der jeweiligen Ingenieurorganisationen (VDE und KDT).

Veranstaltungsort ist die TH Leipzig.

Die Untersuchungen von mehr als 700 tödlich verlaufenden Stromunfällen haben gezeigt (vornehmlich im Niederspannungsbereich), daß die Art und Weise, wie diese Unfälle entstanden, sich im Laufe der Jahre, trotz stark zurückgegangener Unfallzahlen, nicht geändert hat.

Die relativ geringen Absolutzahlen werfen die Frage auf, ob der heutige Schutz gegenüber der bestehenden Gefahr bereits optimal ist. Ein „mathematisches Optimum" läßt sich nicht formulieren, jedoch besteht die Vermutung, daß das Auftreten von Häufungen von Unfällen mit gleichen Hergangsmerkmalen die Chance bietet, noch punktuell durch geeignete Gegenmaßnahmen die Gesamtzahl der Unfälle zu reduzieren.

Beispiele werden anläßlich des geplanten Kolloquiums vorgetragen und zur Diskussion gestellt. Im vorliegenden Heft ist eine Auswahl vorabgedruckt. Diese Beiträge beziehen sich im wesentlichen auf die Entwicklung spezieller Sicherheitstechnischer Mittel (STM) und auf die quantitative Bewertung des Niveaus der Wirksamkeit von STM und sicherheitstechnischer Maßnahmen bereits in der Phase der Projektierung.

Für die Umsetzung der Unfallbeschreibungen aus den entsprechenden Akten in datenverarbeitungsfähige Merkmale wurde an der TH Darmstadt ein Merkmalkatalog erstellt, der alle möglichen bei einem Elektrounfall relevanten Daten in Form einer Liste beinhaltet. Hierbei werden 41 verschiedene Merkmalsarten unterschieden.

Ein Teil der Daten wurde in der jetzt vorliegenden Form bereits zur Erstellung einer Arbeit über Zuverlässigkeitsuntersuchungen an Schutzmaßnahmen verwendet.

EK 4340

Tafel 1: Elektrounfälle im Bereich Kohle und Energie (DDR) im Zeitraum 1985 bis 1989

Bezeichnung	1985	1986	1987	1988	1989
– Stromeinwirkung tödlich	3	1	2	9	5
– Elektrizität (Elt) gesamt	155	77	95	88	94
– Elt-Fachmann	–	29	27	27	35
– Elt-fachkundiger Werktätiger	–	12	13	18	15
– Elt-nichtfachkundiger Werktätiger	–	28	44	40	36
– Frei- und Fahrleitungen	4	8	8	12	16
– Anlagenbezogene Mängel	22	38	44	46	40

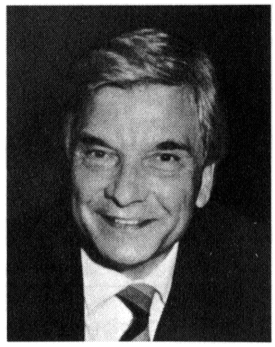
Tafel 2: Tödliche Unfälle durch elektrischen Strom in der BRD nach Angaben des Statistischen Bundesamtes 1970 bis 1988 (aus Grafik abgelesen)

1970	1980	1984	1985	1986	1987	1988
255	165	125	110	125	90	100

Von
Prof. Dr.-Ing. Helmut Zürneck,
TH Darmstadt, Grundlagen der Elektrotechnik, Vorsitzender des VDE-Ausschusses „Unfallforschung"

Prof. Dr. sc. techn. Siegfried Altmann, TH Leipzig, Grundlagen der Elektrotechnik, Mitglied des VDE-Ausschusses „Unfallforschung"

Prof. Dr.-Ing. habil. Friedrich Wilhelm Kloeppel zum 60. Geburtstag



Am 6. 12. 1990 vollendet Prof. *Kloeppel* sein 60. Lebensjahr. Dieser Ehrentag ist für die Technische Hochschule Leipzig Anlaß, sein verdienstvolles Wirken für die industrielle Elektroenergieversorgung zu würdigen.

Von 1937 bis 1950 erfolgte die allgemeine Schulbildung am König-Georg-Gymnasium in Dresden und am Gymnasium in Blankenburg (Harz). Bis 1955 studierte Prof. *Kloeppel* an der Technischen Universität Dresden Elektrotechnik, u. a. bei den Professoren *Barkhausen, Binder, Koettnitz, Kühn, Obenaus* und *Schönfeld*. Kurzschlußstromberechnungsverfahren waren Gegenstand seiner Diplomarbeit. Nach dem Studium ging Prof. *Kloeppel* in die Industrie. In den Jahren von 1955 bis 1970 war er im Ingenieurtechnischen Zentralbüro (IZ) Böhlen tätig. Während dieser Zeit beschäftigte er sich im wesentlichen mit dem Entwurf, der Projektierung und mit der Betriebsführung von elektrischen Industrienetzen, später mit der industriellen Energetik. Im Ergebnis dieser Arbeiten entstand auch die Dissertation. Er promovierte 1964 an der TU Dresden zum Dr.-Ing. Gegenstand der sechs Jahre später abgeschlossenen Habilitation waren Entwurfsverfahren von industriellen Verteilungsnetzen. Nach 15jähriger Industrietätigkeit erfolgte die Berufung zum ordentlichen Professor an die damalige Ingenieurhochschule Leipzig. In dieser Bildungseinrichtung war Prof. *Kloeppel* neben seiner Tätigkeit als Lehrstuhlinhaber u. a. tätig als Prorektor für Wissenschaftsentwicklung und als Sektionsdirektor. Seit dem 1. 4. 1980 leitet er an der Sektion Elektroenergieanlagen der TH Leipzig den Wissenschaftsbereich Elektroenergiesysteme.

In seinen Vorlesungen vermittelt Prof. *Kloeppel* Wissen auf den Gebieten der Projektierung und Zuverlässigkeit von Elektroenergiesystemen. Den Stoff für die Inhalte liefern im wesentlichen seine Forschungsprojekte auf den Gebieten:

- Entwurf und Betrieb von Industrienetzen,
- Funktions- und Struktur-Zuverlässigkeit in Elektroenergiesystemen,
- Projektierung und Inbetriebnahme von neuen Industrienetzen in Leuna, Böhlen, Wolfen und Schwedt.

Als Hochschullehrer betreute Prof. *Kloeppel* 20 A-Dissertationen und begutachtete 8 B-Dissertationen. Es entstanden über 100 Zeitschriftenveröffentlichungen und 5 Fach- bzw. Lehrbücher.

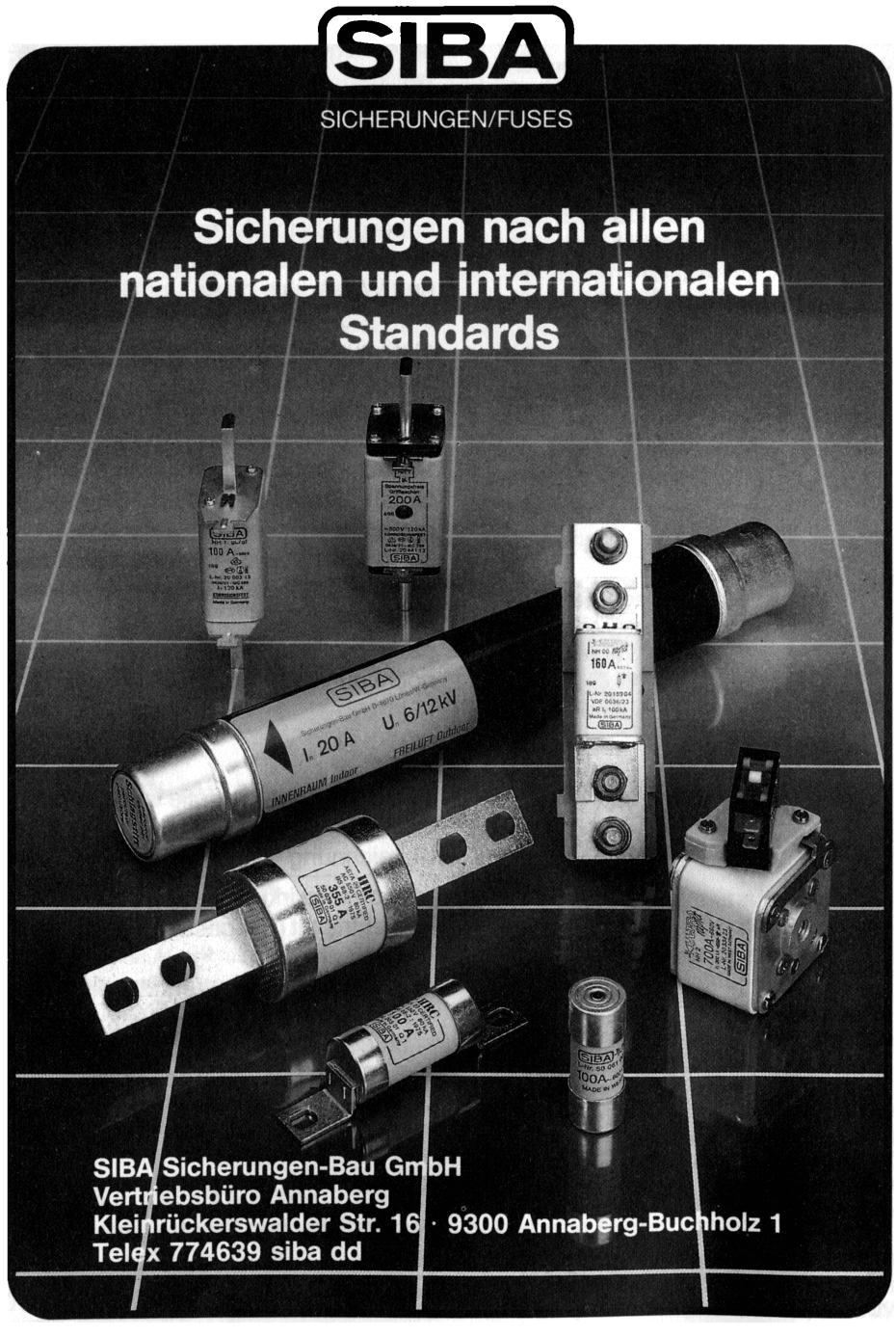
Internationale Beziehungen unterhält Prof. *Kloeppel* mit den Universitäten in Neapel, Tampere, Damaskus, Aleppo und Kiew. Als national und international anerkannter Fachmann ist er in verschiedenen nationalen und internationalen Gremien aktiv tätig. Hervorzuheben ist seine Mitgliedschaft im Nationalkomitee in der Weltenergiekonferenz und seine RGW-Arbeit auf dem Gebiet der Zuverlässigkeit. Sehr aktive Arbeit leistet Prof. *Kloeppel* als Mitglied des Beirates der Fachzeitschift „Energietechnik" und seit vielen Jahren in der KDT.

Besonders nennenswert ist dabei seine Tätigkeit als Vorsitzender des Arbeitsausschusses „Stabile Energieversorgung".

Mit seinem aktiven Wirken hat Prof. *Kloeppel* maßgebenden Anteil an der Profilierung der Sektion Elektroenergieanlagen an der TH Leipzig.

Die Mitarbeiter und Studenten dieser Sektion wünschen Prof. *Kloeppel* anläßlich seines 60. Geburtstages alles Gute, vor allem Gesundheit, Schaffenskraft und weitere Erfolge in seiner Arbeit.

S. Altmann, Leipzig EK 4341



Überspannungsschutz

Th. Pschunder, Blomberg

Störungen oder Zerstörungen elektrischer Anlagen durch Überspannungseinwirkungen nehmen seit einigen Jahren verstärkt zu. Statistiken der Elektronikversicherer zeigen steigende Zahlen für die Schadenshäufigkeit aufgrund von Überspannungen. Knapp 25 % der Schadensfälle wurden durch Blitz und Überspannungen verursacht. Das ergab die Analyse von 13000 Schadensfällen, die der Württembergischen Versicherung im Jahre 1989 gemeldet wurden.
Danach verteilt sich die Entschädigungsleistung auf die einzelnen Schadensfälle nach Tafel 1.

Tafel 1. Entschädigungsleistungen der Württembergischen Versicherung im Jahre 1989

Schadensfall	Entschädigungsleistung in %
Fahrlässigkeit	27,0
Überspannung	14,5
indirekter Blitz	11,7
Diebstahl	8,2
Brand	6,5
sonstiges, Wasser	6,2
Einbruch	4,0
direkter Blitz	2,5
sonstiges	18,9

Den volkswirtschaftlichen Gesamtschaden durch Überspannungen schätzt man in der Bundesrepublik auf jährlich über 500 Millionen DM. Ursache ist die zunehmende Empfindlichkeit elektronischer Bauteile. Halbleiterbauelemente ersetzen heute immer mehr die Funktion von robusten Relais. Die Zerstörungsenergie dieser Halbleiterbauelemente liegt um den Faktor 10^3 bis 10^4 niedriger als bei vergleichbaren elektromechanischen Bauelementen (Tafel 2).

Tafel 2. Zerstörungsenergie

Komponente	Zerstörung (WS) mögliche	sichere
Motoren/Generatoren	10^3	10^6
Elektronenröhren	10^{-3}	10^1
Relais	10^{-3}	10^0
Kondensatoren	10^{-4}	10^{-3}
Dioden	10^{-6}	10^{-3}
Transistoren	10^{-7}	10^{-2}
Computerteile	10^{-7}	10^{-3}
IC's	10^{-7}	10^{-3}

Genaugenommen müßte man den Überspannungsschutz Transientenschutz nennen. Überspannungen aus Blitzeinschlägen, Schalthandlungen u. a. haben einen sehr steilen Spannungsanstieg. Das bedeutet, daß die Spannung innerhalb von wenigen Mikrosekunden Werte von einigen Kilovolt annehmen kann. Diese kurzzeitigen Spannungsimpulse nennt man Transienten. Sie sind für die Zerstörung elektronischer Bauteile verantwortlich. Überspannungsschutz ist also ein Schutz vor Transienten.

1. Ursachen für das Entstehen von Transienten sind:

1.1. LEMP (Lightning Electromagnetic pulse)

Seit Urzeiten hat der Blitz als Naturgewalt eine Bedeutung für den Menschen. Er stand und steht heute noch als Zeichen für Feuer und Zerstörung. In unserer heutigen Zeit kommt aber noch eine weitere Gefährdung hinzu. Bei einer Blitzentladung können Ströme auftreten, die Scheitelwerte von 100 kA und mehr bei sehr kurzen Anstiegszeiten erreichen. Dieser Blitzstrom verursacht einen hohen Spannungsabfall am Erdungswiderstand eines Gebäudes; die hohe Blitzstromsteilheit induziert hohe Spannungen in Leiterschleifen. Die aus einer Blitzentladung resultierende Energie führt zur Zerstörung ungeschützter Bauelemente in elektrischen Stromkreisen. Bei im Mittel drei Blitzeinschlägen pro Quadratkilometer und Jahr ergeben sich 300000 Blitzeinschläge pro Jahr auf dem Gebiet der ehemaligen DDR.

1.2. SEMP (Switching electromagnetic pulse)

Schalthandlungen im Energieversorgungsnetz erfolgen in der Hochspannungsebene und in der Niederspannungsebene. Schalthandlungen aus der Hochspannungsebene können auf die Niederspannungsebene einkoppeln und Werte von einigen kV annehmen.
Resultierende Überspannungen aus hochspannungsseitigen Schalthandlungen entstehen durch das Abschalten leerlaufender Freileitungen, Erdschluß in ungeerdeten Netzen, das Schalten großer Lasten sowie das Auftreten und/oder das Abschalten von Erd-, Kurz- und Doppelerdschlüssen.
Überspannungen in Niederspannungsebenen werden selbst erzeugt und können durch Abschalten von Transformatoren und Schütze, Spannungs- bzw. Stromeinbrüche, Phasenanschnittsteuerungen, Kollektormotoren sowie durch Haushaltsgeräte und Leuchtstofflampen entstehen.

1.3. ESD (Electrostatic discharge)

Elektrostatische Aufladungen entstehen durch Reibung zweier fester Körper aneinander. Diese Ladungsanhäufungen bauen sich bei gut leitender Oberfläche sehr rasch wieder ab. Bei nicht leitenden Materialien können sie sich aber sehr lange halten. Diese Ladungsmengen auf nicht leitenden Materialien können bei Berührung elektrischer Bauelemente zu Beschädigungen oder Zerstörungen führen. Der größte Verursacher solcher elektrostatischen Entladungen ist der Mensch. Die auftretenden Spannungen können beim Laufen über einen Teppich Werte von einigen kV erreichen.

1.4. (Nuclear electromagnetic pulse)

Bei einer Explosion eines Nuklearsprengsatzes entstehen unter anderem Gammastrahlen. Diese Gammastrahlung kann sich bei einer Explosion außerhalb der Erdatmosphäre zunächst aufgrund der fehlenden Luftmoleküle über weite Strecken ausbreiten. Beim Erreichen der Erdatmosphäre schlagen die Gammastrahlen beim Auftreffen auf Luftmoleküle Elektronen aus ihnen heraus. Diesen Effekt nennt man Compton-Effekt. Es entsteht ein Elektronenstrom, der von starken impulsförmigen elektrischen und magnetischen Feldern begleitet wird. Der Radius des betroffenen Gebietes hängt von der Höhe der Explosion ab. Bei einer Explosionshöhe von 500 km beträgt die Fläche des betroffenen Gebietes $90 \cdot 10^6\,km^2$. Dies entspricht der Fläche der kontinentalen Vereinigten Staaten von Amerika.

2. Kopplungsmechanismen

Überspannungen entstehen durch Einkopplungen von der Störquelle zur Störsenke. Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Kopplung:

2.1. Galvanisch (Bild 1)

Die galvanische Einkopplung erfolgt über gemeinsame Impedanzen von Störquelle und Störsenke. Diese gemeinsamen Impedanzen sind z. B. Innenwiderstände von Netzteilen, gemeinsame Leiterzüge oder das Schutzleitersystem. Mit der zunehmenden Vernetzung von Datenverarbeitungsanlagen steigt das Risiko eingekoppelter Überspannungen über die Datenleitungen.

Dipl.-Ing. (FH) *Thorsten Pschunder*, Phoenix Contact

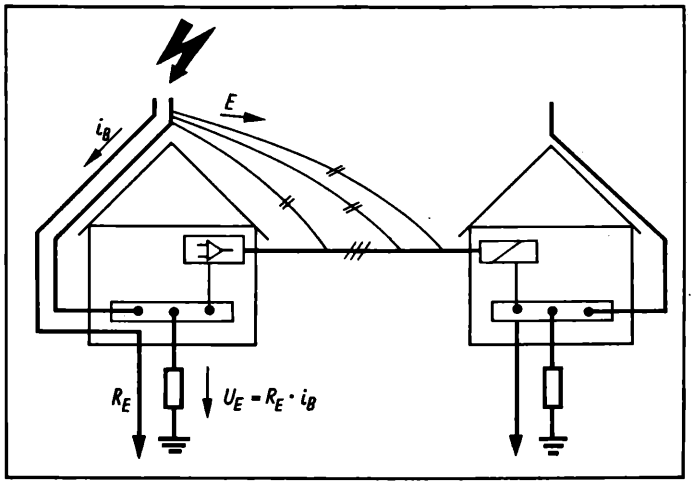


Bild 1. Galvanische Einkcpplung

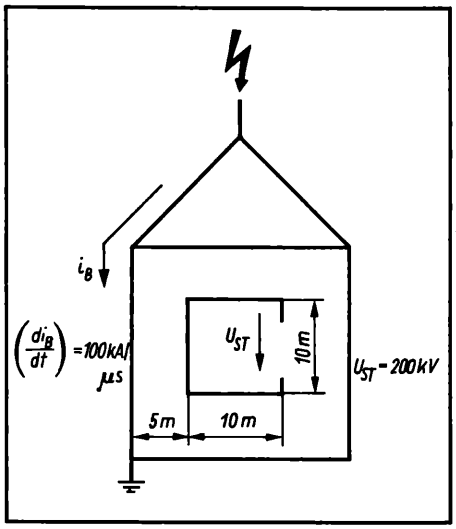


Bild 2. Induzierte Spannung in eine Installationsschleife beim direkten Blitzeinschlag in ein Gebäude mit

$$\frac{di}{dt} = 100\,kA/\mu s$$

2.2. Induktiv (Bild 2)

Die induktive Einkopplung – auch transformatorische Einkopplung genannt – kommt zwischen Stromkreisen zustande. Sie erfolgt durch das magnetische Feld eines stromdurchflossenen Leiters. Dieses Feld kann in nahegelegene Stromschleifen Überspannungen induzieren.

2.3. Kapazitiv (Bild 3)

Die kapazitive Einkopplung erfolgt durch schaltungstechnisch nicht beabsichtigte parasitäre Kapazitäten zwischen Leitern sowie leitfähigen Anordnungen verschiedener Stromkreise. Sie ist die mögliche Spannungsentladung zwischen zwei Leitungen bei großen Potentialdifferenzen.
Weitere Einkopplungsarten sind die Wellen- und die Strahlungsbeeinflussung.

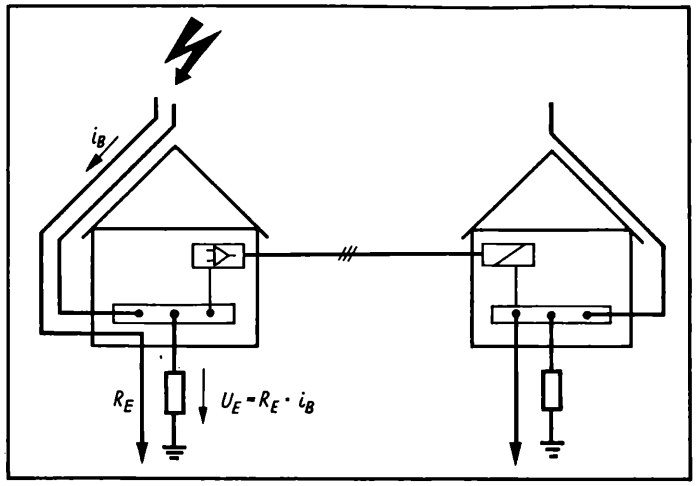


Bild 3. Kapazitive Einkopplung

3. Bauelemente für Ableiter

3.1. Gleitentladungsstrecken (Bild 4)

Eine Entladungsstrecke, zwischen deren Elektroden ein Isolierstoff angeordnet ist, wird Gleitentladungsstrecke – auch Gleitableiter – genannt. Beim Erreichen der Zündspannung erfolgt eine Oberflächenentladung über die Isolationsstrecke.

3.2. Gasgefüllte Überspannungsableiter (Bild 5)

In einem Keramik- oder Glasröhrchen befindet sich eine Elektrodenanordnung. Ein Edelgas (z. B. Argon oder Neon) befindet sich zwischen den Elektroden. Bei Transienten mit der entsprechenden Steilheit zündet die Elektrodenanordnung.

3.3. Varistoren (Bild 6)

Varistoren sind spannungsabhängige Widerstände. Der Name setzt sich aus **var**iable re**sistor** zusammen. Man unterscheidet Varistoren in Siliziumcarbid- und Metalloxidvaristoren. Im Transientenschutz werden heutzutage auf Niederspannungsebene fast ausschließlich Metalloxidvaristoren eingesetzt.

3.4. Suppressor-Dioden (Bild 7)

Suppressor-Dioden, auch Feinschutzdioden genannt, sind z. Z. die Bauelemente mit der schnellsten Ansprechzeit und der niedrigsten Begrenzungsspannung.

4. Einsatzgebiete und spezifische Ableiter

Um elektrische Anlagen gegen Transienten zu schützen, benötigt man Ableiter, die zum einen eingekoppelte Überspannungen begrenzen und zum anderen keinen störenden Einfluß auf den elektrischen Stromkreis haben. Der Überspannungsschutz wird in drei klassische Einsatzgebiete eingeteilt: Netzschutz, MSR-Schutz und Datenschnittstellenschutz.
Jedes Einsatzgebiet erfordert spezifische Ableiter mit sorgfältig aufeinander abgestimmten Bauelementen.

Bild 4. Gleitentladungsstrecke

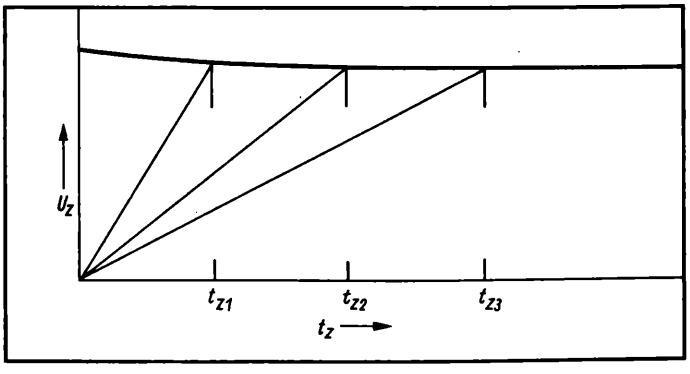
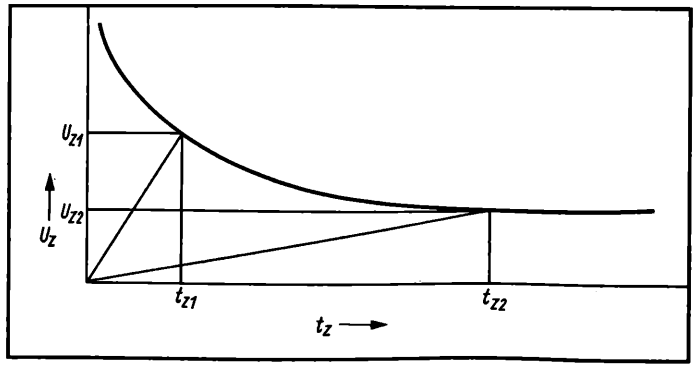


Bild 5. Gasgefüllte Überspannungsableiter



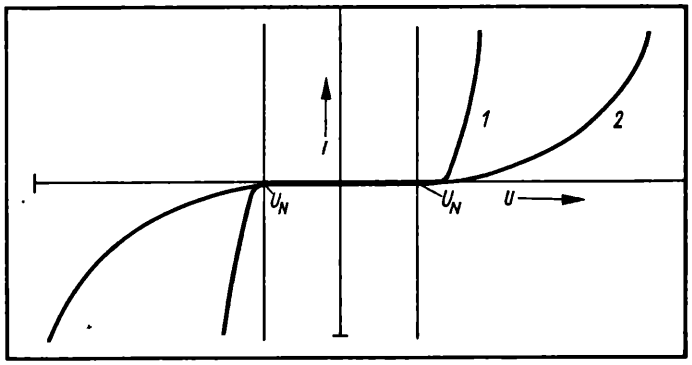


Bild 6. Strom-Spannungskennlinie bei der Anwendung von Varistoren

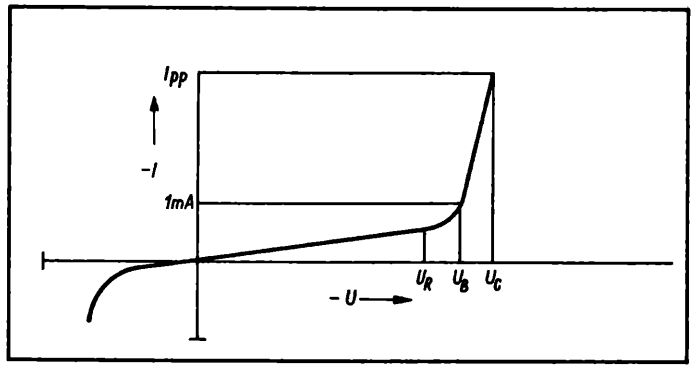


Bild 7. Strom-Spannungskennlinie bei der Anwendung von Suppressor-Dioden

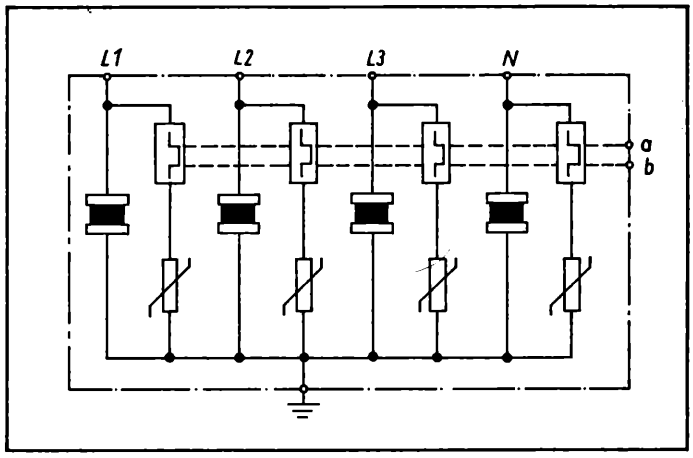


Bild 8. Installation eines Ableiters zum Schutz vor Überspannungen

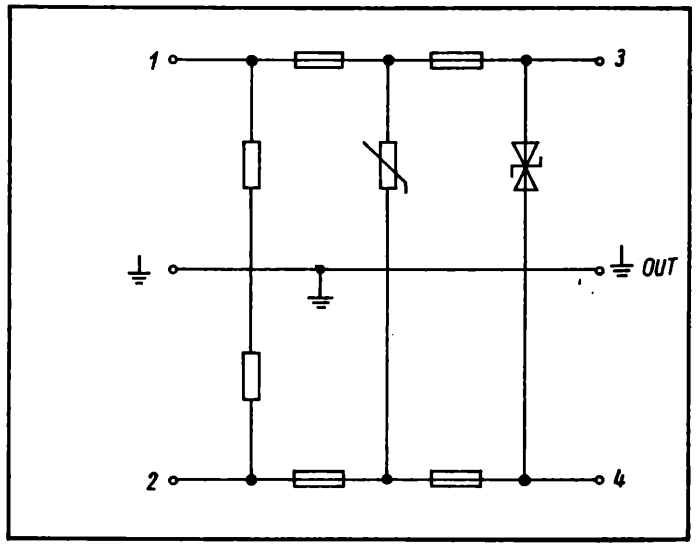


Bild 11. UFBK 2-PE . . ., Pflugtrab

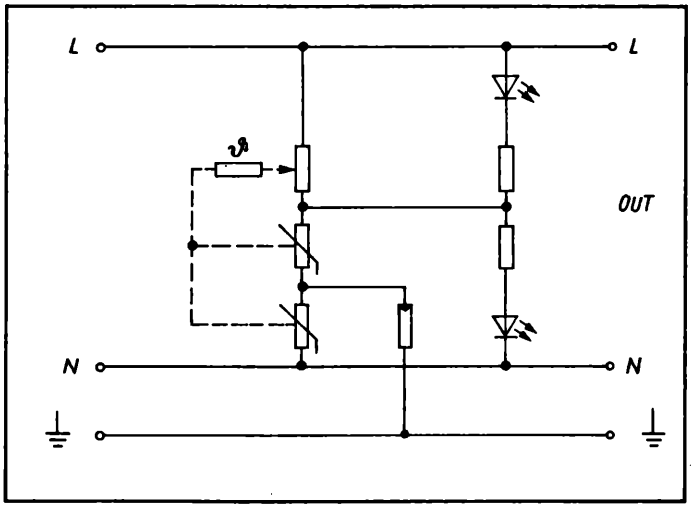
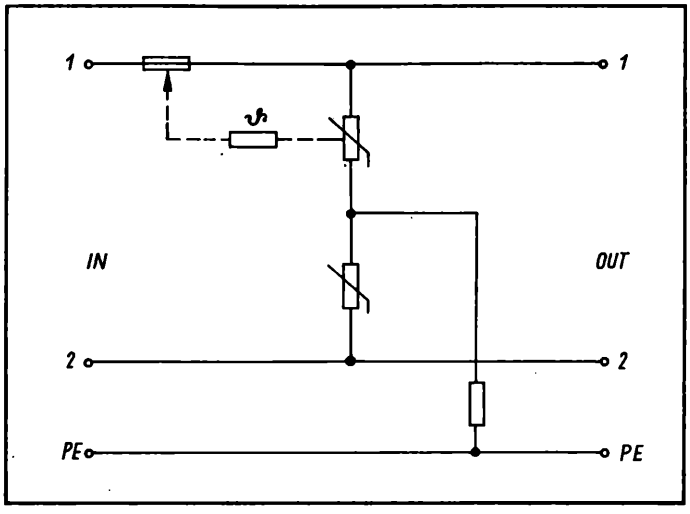


Bild 9. Sockettrab

Bild 10. Maistrab



4.1. Netzschutz (Bild 8)

Blitzentladungen oder Schalthandlungen führen zu Einkopplungen energiereicher Überspannungen in die zentrale Netzspeisung elektrischer Anlagen bzw. in Gebäudeinstallationen. Um eine Verschleppung dieser Überspannungen in Gebäude- bzw. Anlageninstallationen zu vermeiden, ist es wichtig, direkt am Gebäude bzw. Anlageneintritt der Versorgungsleitungen Ableiter zu installieren.

Technisch ist es nicht möglich ein hohes Ableitvermögen (bis 100 kA) bei gleichzeitig tiefem Schutzpegel zu realisieren.

Ein Ableiter gemäß unten stehendem Schaltbild besteht für jede zu schützende Leitung aus der Parallelschaltung eines Metalloxid-Varistors und einer blitzstromtragfähigen Gleitfunkenstrecke. Das Ableitvermögen beträgt pro Kanal 100 kA bei einer Ladung von 10 As. Dieser Ableiter wird in die zentrale Netzeinspeisung installiert und sollte in der Nähe der Potentialausgleichsschiene eingebaut werden (Bild 8).

Die Metalloxid-Varistoren begrenzen auf Spannungen unter 2 kV, die Gleitfunkenstrecke nach dem Ansprechen auf Werte unter 3 kV.

Diese noch verbleibende Restspannung ist sehr hoch für elektronische Komponenten, und als weiterer Schutz werden auf Unterverteilungsebene Varistoren eingesetzt. Das Ableitvermögen solcher Varistoren liegt bei 10 kA. Die verbleibende Restspannung liegt bei etwa 1000 V.

Direkt vor den zu schützenden Geräten können Überspannungsschutzadapter, überspannungsgeschützte Netzsteckdosen oder fest installierte Überspannungsschutzmodule eingesetzt werden.

Zu den Schaltungen solcher Ableiter siehe Bilder 9 und 10. Das Ableitvermögen solcher Schaltungen liegt zwischen 2,5 und 5 kA. Die Varistoren begrenzen die Querspannungen auf Werte unter 600 V, die Reihenschaltung aus Varistor und gasgefülltem Überspannungsableiter die Längsspannung auf Werte unter 1,5 kV.

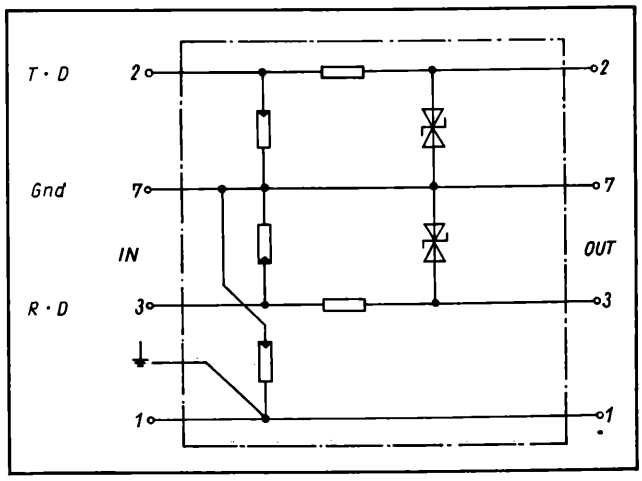


Bild 12. D-UFB-V 24/..., Datatrab

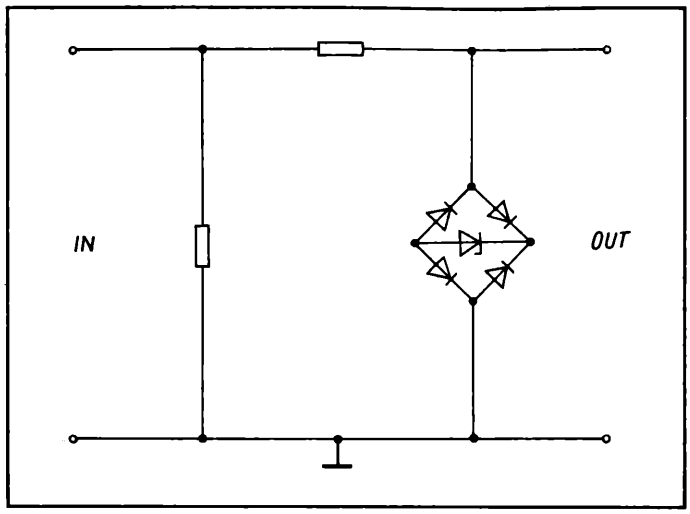


Bild 13. C-UFB..., Coaxtrab

4.2. MSR-Schutz (Bild 11)

Die Überspannungsempfindlichkeit von MSR-Anlagen liegt in den niedrigen Spannungspegeln und der dementsprechenden geringen Leistung begründet.
Ableiter für diesen Anwendungsbereich müssen zum einen über ein hohes Ableitvermögen (bis 10 kA) verfügen und zum anderen die Überspannungen in bezug auf die Betriebsspannung eng begrenzen.
Um einen möglichst tiefen Schutzpegel mit gleichzeitig hohem Ableitvermögen zu erhalten, werden zum Schutz der Anlagen sogenannte Kaskadenschaltungen eingesetzt, die aus einem gasgefüllten Überspannungsableiter, einem Varistor und einer Suppressor-Diode bestehen. Zur Entkopplung der einzelnen Bauelemente werden Induktivitäten (Spulen) oder ohmsche Widerstände verwendet.
Läuft eine Überspannung von der Grobschutzseite (gasgefüllter Überspannungsableiter) auf diese Schutzkaskade, so begrenzt das schnellste Bauelemente (Suppressordiode) zuerst. Bei Zunahme der Energie erreicht die Suppressor-Diode sehr schnell die Grenzen ihres Leistungsvermögens. Bevor die Leistungsgrenze der Suppressordiode erreicht wird, soll eine Kommutierung auf das nächste leistungsstärkere Bauelement, den Varistor, erfolgen. Der Spannungsabfall an der Suppressor-Diode allein reicht nicht aus, den Varistor vom hochohmigen in den niederohmigen Zustand zu bewegen. Hierfür wird eine zusätzliche Spannung benötigt. Dies ist der Grund für den Einsatz der Entkopplungselemente. Über die Impedanzen bildet sich eine Spannung nach

$u = Ldi/dt$ bzw. $U = Ri$

Die Addition der Spannungen führt dazu, daß der Varistor anspricht und den Ableitstrom übernimmt.
Bei sehr hohen Energien erfolgt nach dem gleichen Prinzip zusätzlich die Kommutierung vom Varistor auf den gasgefüllten Überspannungsableiter.
Mit solch einer Schutzkaskade liegt die Spannungsbegrenzung (bei einer Anstiegsgeschwindigkeit von 1 kV/μs) bei etwa dem 1,8fachen der Nennspannung des Ableiters.

4.3. Datenschnittstellen (Bild 12)

Datenschnittstellen bestehen aus spannungsempfindlichen Halbleiterbauelementen. Schon verhältnismäßig geringe Spannungsspitzen können diese Bauelemente zerstören. Daher sollten Überspannungsableiter unmittelbar vor der zu schützenden Anlage installiert werden. In der Datentechnik wird mit großen Übertragungsfrequenzen gearbeitet, so daß als Entkopplungselemente ohmsche Widerstände eingesetzt werden. Induktivitäten könnten zu einer unerlaubt großen Dämpfung führen. Wie aus dem Schaltbild eines typischen Überspannungsableiters für die V.24/RS 232 C erkennbar ist, werden auch keine Varistoren eingesetzt. Dies liegt an der für die Datentechnik zu großen Kapazität der Varistoren.
Bei höheren Frequenzen wie beim Übertragen von Videosignalen wird die Suppressor-Diode zusätzlich in eine kapazitätsarme Dioden-Brückenschaltung eingebettet. In dieser Brückenschaltung spielt die Kapazität der Suppressordiode keine Rolle mehr, sondern nur noch die der kapazitätsarmen Dioden. Mit solch einer Schaltung liegt die Grenzfrequenz oberhalb 100 MHz (Bild 13).

5. Zusammenfassung

Überspannungen stellen eine zunehmende Bedrohung für elektrische/elektronische Anlagen dar. Schadensstatistiken weisen eine steigende Tendenz auf. Der Nachteil der zunehmenden Empfindlichkeit elektronischer Bauelemente und der damit verbundenen Gefährdung durch Überspannungen kann mit einem Überspannungsschutzkonzept begrenzt werden.
Ursachen für das Entstehen von Überspannungen sind die LEMP, SEMP, ESD oder NEMP.
Die Einkopplung kann galvanisch, induktiv oder kapazitiv sowie durch die Wellen oder Strahlungsbeeinflussung erfolgen.
Als Bauelemente für Ableiter werden Gleitentladungsstrecken, gasgefüllte Überspannungsableiter, Varistoren sowie Suppressordioden verwendet. Zur Entkopplung werden Induktivitäten oder ohmsche Widerstände eingesetzt.
Die unterschiedlichen Einsatzgebiete stellen unterschiedliche Anforderungen an Überspannunsableiter. Die Parameter der einzelnen Ableiter reichen von der Blitzstromtragfähigkeit (100 kA, 10 As) bis hin zur Spannungsbegrenzung unter dem 1,8fachen der Nennspannung. Übertragungsfrequenzen bis über 100 MHz sind möglich.

Literatur

[1] Schadensstatistik der Württembergischen Versicherung 1989
[2] Mechanismus der Gewitter und Blitze, VDE-Schriftenreihe 34
[3] Informationsbroschüre Überspannungsschutz TRABTECH-PHOENIX-CONTACT
[4] Handbuch Elektromagnetische Verträglichkeit, VDE Verlag

EA 6183

Berücksichtigung sicherheitstechnischer Forderungen bei der Zuverlässigkeitsbewertung in Chemieanlagen

G. Adler, Leipzig; K. Franke, Böhlen

Die Funktion technologischer Prozesse in Chemieanlagen ist von der Funktion der einzelnen am Prozeß beteiligten Teilsysteme Elektroenergie, Automatisierungstechnik, Druckluft, Wasser, Schutzgas u. a. abhängig. Der Ausfall eines dieser Teilsysteme während des Produktionsprozesses ist fast immer mit erheblichem Produktionsausfall und mit Gefährdungen verbunden. Das gilt besonders für große komplexe Chemieanlagen mit großtechnologischen Teilsystemen und Anlagen, die meist ein erhebliches Gefahrenpotential konzentrieren. Grundsätzlich gilt, daß technische Erzeugnisse, Anlagen und Systeme so hergestellt oder gestaltet sein müssen, daß sie bei ordnungsgemäßer Aufstellung und Anordnung und bestimmungsgemäßer Verwendung für Leben und Gesundheit ungefährlich sind. Die Sicherheitstechnik befaßt sich mit der Abwendung von Gefahren unmittelbar, mittelbar und hinweisend. Unmittelbar durch gefahrmeidendes Gestalten oder Verhalten, mittelbar durch gefahrmindernde besondere Mittel und hinweisend durch Angabe der Bedingungen für eine gefahrlose Verwendung oder Arbeitsweise [1]. Ziel ist es also, durch Sicherheitsvorkehrungen dafür zu sorgen, die Gefahren auf ein Minimum zu begrenzen. Eine „Null-Fehler-Technik" ist unerreichbar, es bleibt stets ein Rest an Gefährdungen, der als Risiko, wissenschaftlich-technisch begründet, zu tragen ist.

Dieses Risiko kann nicht determiniert bestimmt werden, sondern kann nur auf analytischem Wege abgeschätzt werden. Hierbei ist von abschätzbaren Wahrscheinlichkeiten für das Versagen einzelner Komponenten auf die Ausfallwahrscheinlichkeit des Gesamtsystems zu schließen. Den Zusammenhang zwischen Gefährdungen, Schäden und Risiko enthält Bild 1. Das abzuschätzende Risiko ergibt sich aus dem Produkt Fehlerhäufigkeit $H(E)$ mal Wirkungen dieser Fehlerereignisse im Prozeß $W(E)$.

$$R = H(E) \cdot W(E) \qquad (1)$$

Die technologischen Linien großer Chemieanlagen sind meist einstrangig, d. h. ohne Redundanz konzipiert und realisiert. Die Gründe dafür sind hohe Grundmittelkosten und komplizierte Produktionstechnologien. Daraus und aus prozeßspezifischen Energieinhalten (Druck, Temperatur, Gaskonzentration u. a.) resultieren höhere Gefährdungen als in Mehrstranganlagen. Zwischen den Teilsystemen des Produktionssystems bestehen vielfache Abhängigkeiten in Form von Informationskopplungen, Energie- und Rohstoffversorgungen, Messungen und Steuerungen u. a. Um nun ein vertretbares Risiko zu ermitteln, müssen die funktionellen Zusammenhänge erfaßt werden, d. h., in die Zuverlässigkeits- und Sicherheitsbewertung sind alle am Produktionsprozeß beteiligten Teilsysteme einzubeziehen. Während für die Bewertung der Zuverlässigkeit von Elektroenergiesystemen erprobte Methoden und Verfahren vorhanden sind, fehlen diese noch für die Sicherheitsbewertung. Das betrifft insbesondere die Festlegung von Normativen und Gefährdungsmaßnahmen. Das wurde auch von der Arbeitsgruppe 38-03 der CIGRE im August 1988 [2] so eingeschätzt.

Mit diesem Beitrag werden Möglichkeiten der Zuverlässigkeits- und Sicherheitsbewertung aus der Sicht des industriellen Elektroenergiesystems und die Wirkungen bei Ausfall der Elektroenergieversorgung auf den chemischen Produktionsprozeß behandelt.

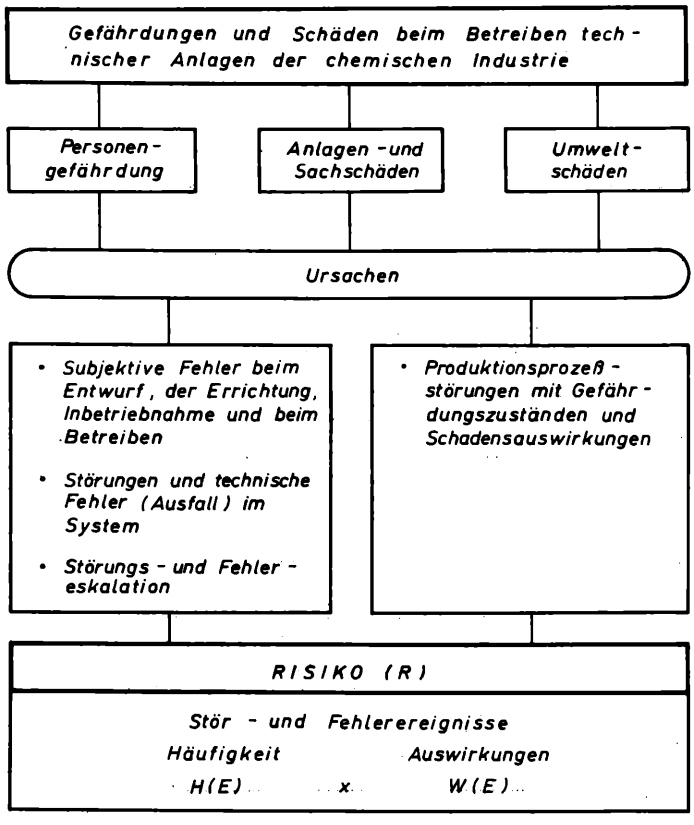
Am Beispiel von Hilfsantrieben, die für die Sicherheit petrolchemischer Anlagen wichtig sind und hohe bis maximale Forderungen an die Zuverlässigkeit des Elektroenergiesystems stellen, werden erste Erfahrungen und Ergebnisse dargestellt.

1. Zum Risiko beim Betreiben technischer Anlagen

Das gemeinsame Ziel der Vorschriften und Regeln, die Festlegungen und Forderungen zur Sicherheit von Personen und Sachwerten als Inhalt haben, ist, ein Mindestmaß an Sicherheit festzuschreiben, das ausreicht, mögliche Gefährdungen ausreichend sicher zu beherrschen oder abzuwenden. Eingeschlossen darin ist, daß die als Maß festgelegten Mindestforderungen an die Sicherheit berechenbar und prüfbar sind, um das verbleibende Risiko (Restrisiko) kalkulieren zu können. Das verantwortungsbewußte Herangehen an die Fragen der Zuverlässigkeit und Sicherheit bedeutet also neben der Beachtung gesetzlicher Vorschriften und Regeln auch die sachliche Angabe des Risikos [3].

Im „Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte" – Produktionshaftungsgesetz – sind zur Risikominderung folgende Ausführungen gemacht: „Jede Unternehmensleitung ist verpflichtet, Grundsätze für eine Risikopolitik, die Schadensersatzansprüche aus Vertrag oder aus Gesetzen abwehren oder begrenzen soll, zu entwickeln und in die betriebliche Praxis umzusetzen. Oberstes Ziel der Planung, Konstruktion, Fabrikation und des Vertriebes eines Produktes ist die Sicherheit. Der Ingenieur muß alle mit der Sicherheit eines Produktes zusammenhängenden Fragen ausgewogen lösen. Er darf nicht nur darauf achten, daß das Produkt gut funktioniert und kostengünstig herzustellen ist, er muß auch an die Menschen denken, die damit in Berührung kommen. Das erfordert, daß man sich fast jedes Risiko klar macht, das bei der Benut-

Bild 1. Zusammenhänge zwischen Gefährdungen, Schäden und Risiko in chemischen Anlagen



A. o. Dozent Dr.-Ing. *G. Adler* ist Oberassistent am Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik der Techn. Hochschule Leipzig (Lehrstuhlinhaber: Prof. Dr. sc. techn. *S. Altmann*)

Dr.-Ing. *K. Franke*, ist Abt.-Leiter im Bereich Elektrotechnik, Sächsische Olefinwerke AG Böhlen.

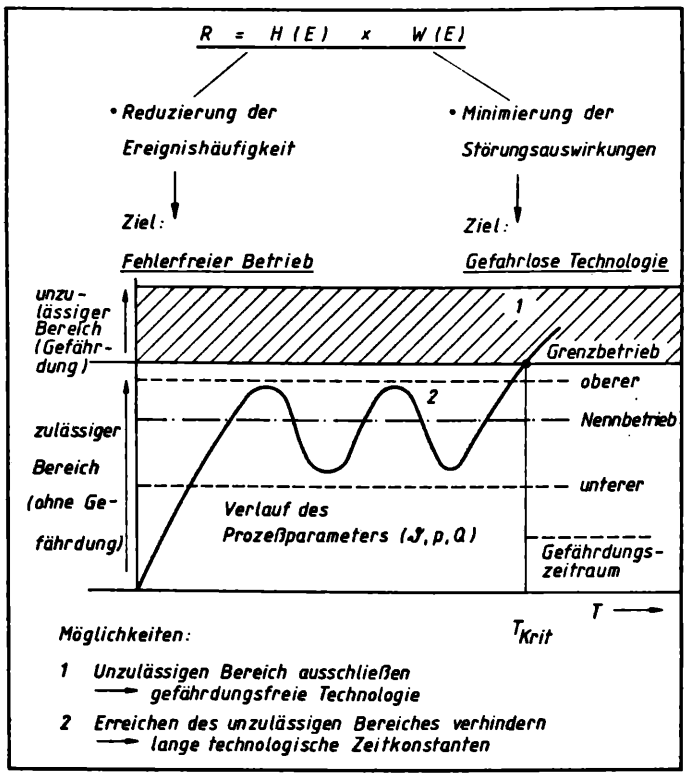


Bild 2. Prinzipielle Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos

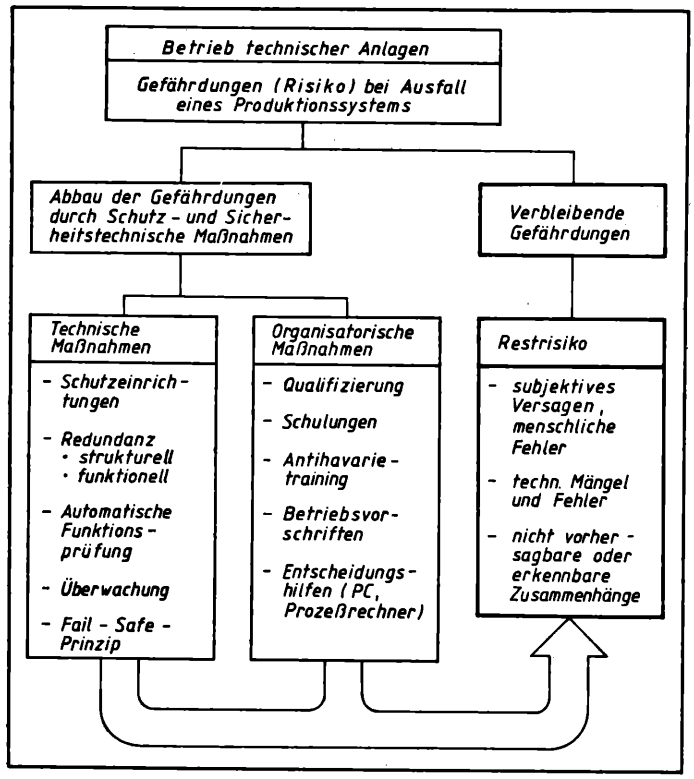


Bild 3. Restrisiko beim Betreiben technischer Anlagen

zung des Produktes auftreten kann. Das Produkt soll nicht nur funktionieren, sondern es muß sicher sein" [4]. Diese Festlegung ist generell anwendbar, also auch auf technische Anlagen. Ein gesetzlich akzeptiertes Risiko, z. B. in Form eines quantitativen Risikograd es ist nirgends festgelegt. Ziel kann deshalb nur sein, bereits bei der Verfahrens- und Anlagenprojektierung sicherheitsgerecht Risiken zu quantifizieren, um auf dieser Grundlage das Maß der Abweichung vom erfolgreichen Ausgang einer bewußt zielgerichteten Handlung zu verringern [5]. Aus der Kenntnis der dem Risiko innewohnenden Zusammenhänge können Maßnahmen zu dessen Reduzierung abgeleitet werden. Im Bild 2 sind die beiden prinzipiellen Richtungen und die angestrebten Ziele, „Fehlerfreier Betrieb" und „Gefahrfreie Technologie" dargestellt. In der Praxis sind beide Ziele auch bei umfangreicher Anwendung technischer und organisatorischer Maßnahmen nicht erreichbar, es bleibt stets ein Restrisiko. Im unteren Teil von Bild 2 sind Toleranzbereiche verfahrenstechnischer Systeme allgemein dargestellt. Für zuverlässigkeits- und sicherheitstechnische Untersuchungen sind die Systemzustände von Bedeutung, bei denen Über- und eventuell auch Unterschreitungen der Toleranzgrenzen auftreten. Ab einer bestimmten Toleranzgrenzenüber- oder -unterschreitung fällt das System aus. Der Systemausfall kann Gefährdungen hervorrufen, denen durch entsprechende Maßnahmen zu begegnen ist. Diese Gefährdungen sind bis auf ein zulässiges Minimum, das Restrisiko abzubauen (Bild 3).

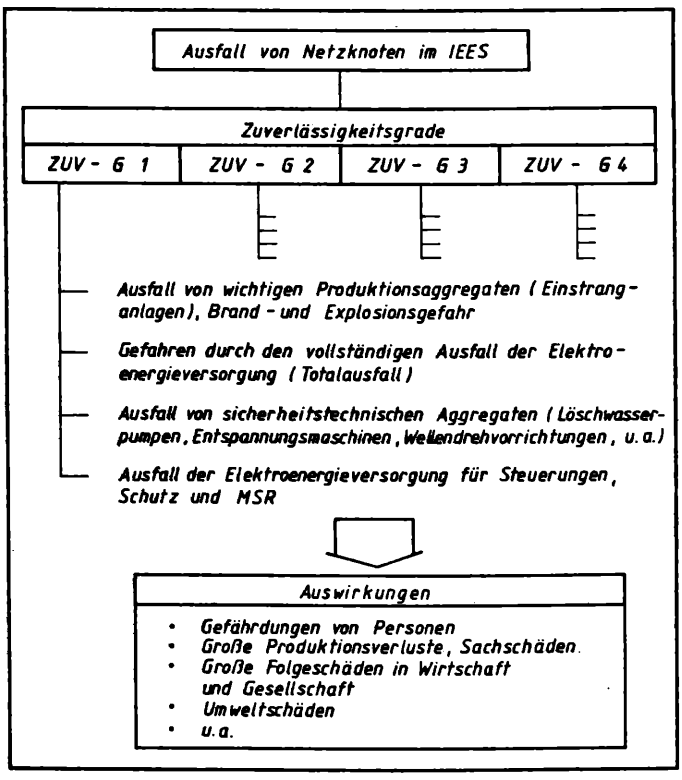
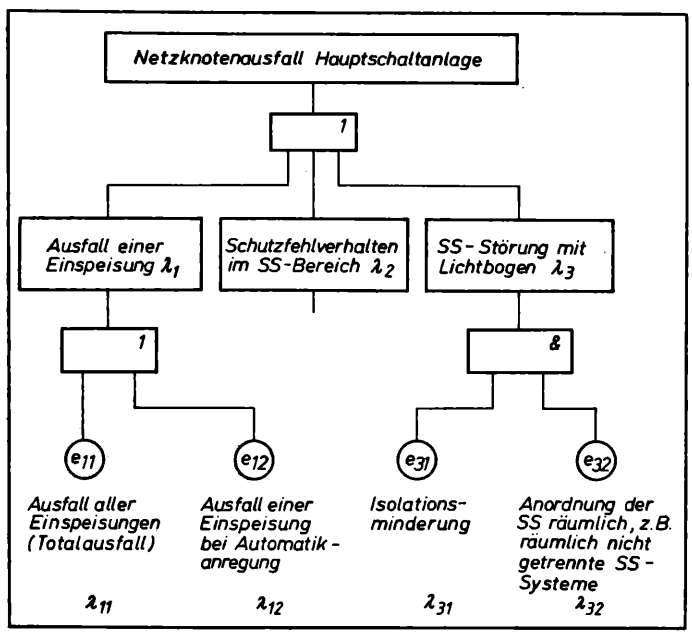


Bild 4. Auswirkungen von Netzknotenausfällen in industriellen Elektroenergiesystemen bezogen auf Produktionsanlagen mit ZUV-Grad 1

Bild 5. Ausgewählte Fehlerursachen Netzknotenausfall Hauptschaltanlage im IEES

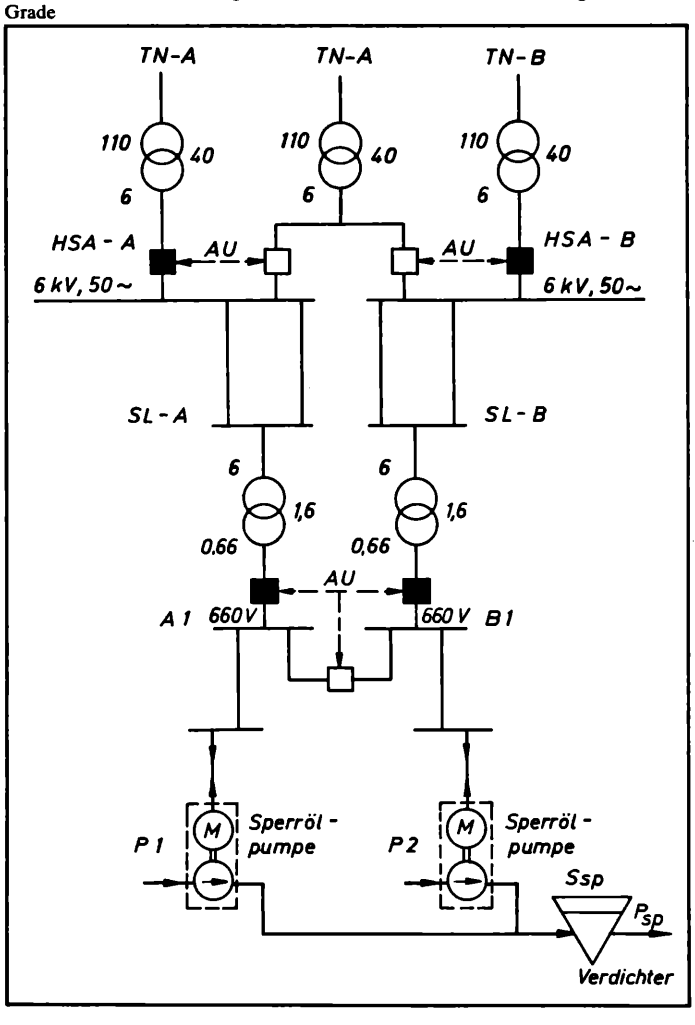


	Bei Ausfall der Elektroenergieversorgung					
	Personengefährdung im Produktionsprozeß			Anlagen- und Sachwertschädigung		
	hoch (sehr wahrscheinlich)	mittel (wahrscheinlich)	gering (unwahrscheinlich)	hoch (sehr wahrscheinlich)	mittel (wahrscheinlich)	gering (unwahrscheinlich)
Risikograd (R-Grad)	1	2	3	2	2	3

Bild 6. Risiko-Gradierung

A	Technische Maßnahmen	Risiko Grade R1	R2	R3
A1	Ständige Überwachung der Funktionsfähigkeit (Autotesting)	x	x	
A2	Auswahl spezieller Sicherheitsschaltung, z.B. m-aus-n	x	x	
A3	Vollständige Redundanz der Sicherheitssysteme und der Energieversorgungswege	x	x	
A4	Teilweise Redundanz der Energieversorgungswege			x
A5	Diversitäre Redundanz (unterschiedliche Prinzipien) bei der Fehlerfassung	x		
A6	Anwendung des Fail-Safe-Prinzips (System bleibt beim Auftreten eines Ausfalls im sicheren Zustand)	x		
A7	⋮			
B	Organisatorische (nicht techn.) Maßnahmen	R1	R2	R3
B1	Erstellung von Sicherheitsnachweisen Schutzgütenachweise	x	x	x
B2	Verkürzte Inspektions- und Wartungsintervalle	x		
B3	Schulung des Personals, anlagebezogenes Antihavarietraining	x	x	
B4	Spezielle Instandhaltungstechnologien	x		
B5	Funktionsprüfungen (Nullspannungstests, Schutzfunktionsprüfungen, u.a.)	x	x	
B6	⋮			

Bild 7. Technische und organisatorische Maßnahmen mit Zuordnung der Risiko-Grade



2. Netzknoten im EES als Initiale von Gefährdungspotentialen in den Produktionsanlagen

In jedem industriellen Elektroenergiesystem gibt es Knoten, bei deren Ausfall sich kritische Auswirkungen auf die nachgeschalteten Anlagen und Abnehmer einstellen. In redundant aufgebauten industriellen Elektroenergiesystemen sind das häufig die Sammelschienen in den Schaltanlagen der Elektroenergiebereitstellung. Die Einordnung des Ausfalls von Netzknoten im Elektroenergiesystem erfolgt in ZUV-Grade nach den möglichen Auswirkungen (Bild 4) [6]. Mögliche Gefährdungen mit katastrophalen Auswirkungen sind mit dem ZUV-Grad 1 erfaßt. Demzufolge gelten die nachfolgenden Ausführungen für Produktionsanlagen, die in den ZUV-Grad 1 eingeordnet sind. Störungen, die zu Ausfällen von Netzknoten führen, haben unterschiedliche Ursachen. Im Bild 5 sind die hauptsächlichsten Fehlerursachen für den Ausfall eines Netzknotens (Hauptschaltanlage) als Fehlerbaum dargestellt. Aus den Verknüpfungen und mit den Ausfallraten sind erste qualitative und quantitative Schlußfolgerungen für eine ZUV- und Sicherheitsbewertung sowie eine Schwachstellenanalyse ableitbar.

Die Festlegung konkreter Gefährdungsmaßstäbe in Form von Grenzparametern bleibt dabei problematisch. Als qualitatives Maß hat sich die Einordnung der Abnehmer in die Klassifizierung nach Zuverlässigkeitsgraden bewährt [7]. Damit werden auch Gefährdungsmöglichkeiten, die durch Elektroenergieabnehmer bei Ausfall derselben in Produktionsanlagen entstehen können, eingeordnet. Für eine Risikobewertung reichen die Angaben des ZUV-Grades mit den zugehörigen Kriterien und ZUV-Größen nicht aus. Hier wird es erforderlich, die Personengefährdungen, die Anlagen- und Sachwertbeschädigungen und die Umweltschäden getrennt zu bewerten. Deshalb wurden analog zu den ZUV-Graden Risiko-Grade definiert [8], mit denen Personengefährdung, Anlagen- und Sachwertbeschädigungen klassifiziert sind (Bild 6). Die Abstufung der Risiko-Grade geht von *R*-Grad 1 (hoch) bis *R*-Grad 3 (gering). Den einzelnen Risiko-Graden sind, wie den ZUV-Graden technische und organisatorische (nichttechnische) Sicherheits- und Schutzmaßnahmen zugeordnet. Technische und organisatorische Maßnahmen mit der Zuordnung der Risiko-Grade zu den einzelnen Maßnahmen enthält Bild 7. Die einzelnen Maßnahmen sind mit der Anwendung der Risiko-Grade auf ausgewählte Elektroenergieabnehmer in sensiblen Produktionsanlagen entstanden. Sie haben Beispielcharakter und bedürfen der weiteren Präzisierung. Der Aufwand für die Einordnung in die Risiko-Grade hat sich in der Praxis geringer als die Einordnung der Elektroenergieabnehmer in die ZUV-Grade erwiesen. Für die Risikobewertung ist die ZUV-Gradierung jedoch die Grundlage. Nachfolgend wird mit einem konkreten Beispiel die Vorgehensweise der vorgenannten Gradierungsmethode demonstriert und die damit erreichten Ergebnisse interpretiert.

3. Beispiel: Mehrstufiger Propenverdichter – Sperrölversorgung

3.1. Technologische Beschreibung

Für den sicheren Betrieb eines mehrstufigen Propenverdichters innerhalb einer Olefinerzeugungsanlage wird zur Verhinderung des unkontrollierten Austritts des explosiblen Prozeßgases zwischen Lager und Welle Sperröl als Abdichtung verwendet. Die Entspannung des Verdichters erfolgt zeitverzögert in 15 Minuten. Der erforderliche Sperröldruck wird von zwei Pumpen P 1 und P 2 erzeugt. Durch einen Sperrölhochbehälter werden Druckschwankungen kompensiert und der Ausfall der Pumpen für bestimmte Zeitbereiche überbrückt. Das vereinfachte elektrotechnische und technologische Schema enthält Bild 8. Von Verfahrenstechnikern

◀

Bild 8. Vereinfachtes Schema der Sperrölversorgung eines Propenverdichters
T_R – technologische Reaktionsdauer

Klassifizierung	ZUV-Grad 1	Risiko-Grad 2
Kriterium	Sperröldruck P_{sp}	→ Minimum
zul. Grenzwerte	P 1 **und** P 2:	$T_{R1} \lesssim 3{,}5$ Minuten
bei Ausfall	P 1 **oder** P 2:	$T_{R2} \lesssim 10$ Minuten

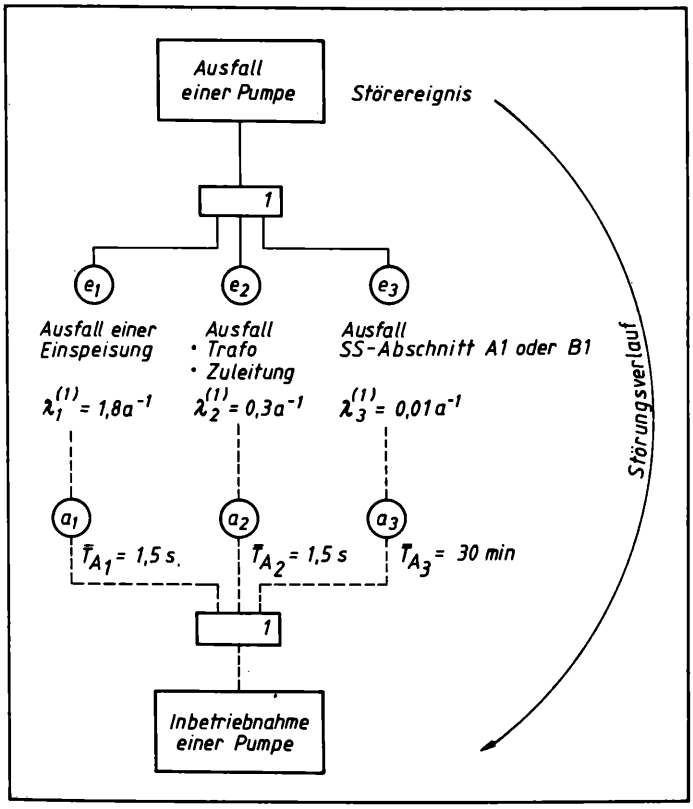


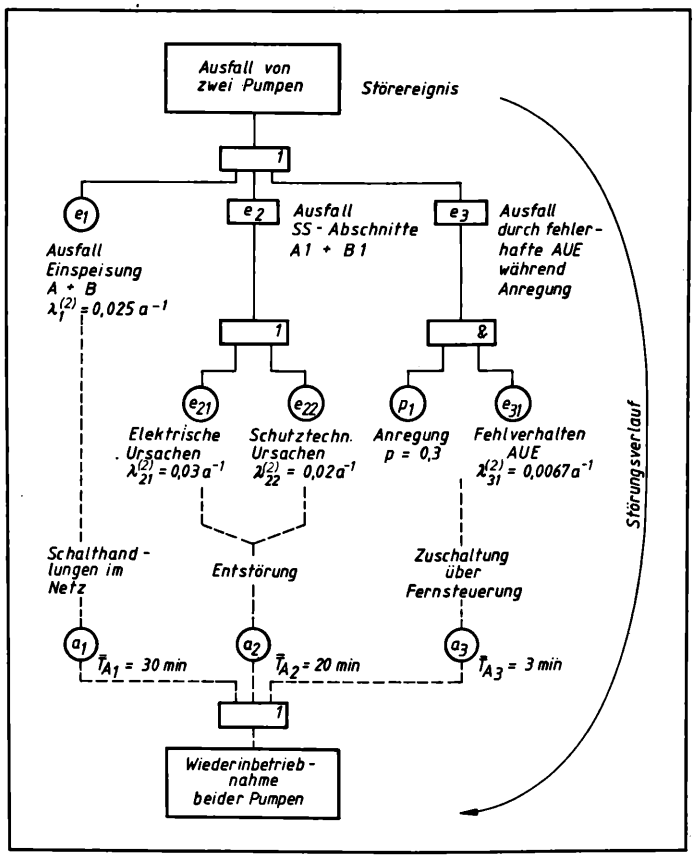
Bild 9. Ausfall einer Sperrölpumpe

wurde die Sperrölversorgung in den ZUV-Grad 1 eingeordnet. Die Grenzwerte für die maximale Ausfalldauer einer bzw. beider Pumpen beträgt 10 Minuten bzw. 3,5 Minuten.

3.2. Zuverlässigkeitsbewertung

Die Zuverlässigkeitsbewertung der Ausfallzustände „Ausfall einer Pumpe" und „Ausfall beider Pumpen" erfolgt mit Hilfe der Booleschen Algebra. Bild 9 und Bild 10 enthalten die entsprechenden

Bild 10. Ausfall von zwei Sperrölpumpen



Fehlerbäume. Den einzelnen Ereignissen e 1 bis e 3 sind Ausfallraten und Aktivitäten a 1 bis a 3 mittlere Ausfalldauern zugeordnet. Mit der jeweiligen Systemfunktion wurden Zuverlässigkeitskennwerte, wie Nichtverfügbarkeit NV, mittlere Dauer zwischen zwei Ausfällen ⊖ u. a. berechnet. Mit diesen Zuverlässigkeitskennwerten sind Variantenvergleiche bei Variation der Netzstruktur bzw. der Schaltzustände möglich, die Aussagen über den Zuverlässigkeitsniveaugewinn oder -verlust gestatten.

Auf eine detaillierte Beschreibung der Zuverlässigkeitsbewertung wird in diesem Beitrag verzichtet.

3.3. Sicherheitstechnische Bewertung

Die sicherheitstechnische Bewertung des Propenverdichters beginnt mit der Einordnung in einen Risikograd nach Bild 6. Zusammen mit Verfahrenstechnikern, Sicherheitsbeauftragten und Elektrotechnikern wurde das Ausmaß der Gefährdung ermittelt und in der R-Grad 2 eingestuft. R-Grad 2 heißt, Personengefährdung im Produktionsprozeß bei Ausfall der Elektroenergieversorgung infolge Gasaustritt und Brand ist wahrscheinlich. Die Wahrscheinlichkeitseinschätzung erfolgte mit den quantitativen Methoden der Zuverlässigkeitsbewertung. Für die Anlagen- und Sachwertschädigung erfolgte die Einordnung in den R-Grad 3, d. h. die Wahrscheinlichkeit ist gering. Da Personengefährdungen die Priorität haben, gilt für den Propenverdichter generell R-Grad 2.

Danach sind technische Maßnahmen, die den Gefährdungen entgegenwirken nach Bild 7:

A 1 ständige Überwachung der Funktionsfähigkeit
A 2 Sicherheitsschaltungen
A 3 vollständige Redundanz der Sicherheitssysteme und der Energieversorgungswege

und von den organisatorischen Maßnahmen:

B 1 Sicherheitsnachweis
B 3 Schulung des Personals, Antihavarietraining
B 5 Funktionsprüfungen.

Diese Maßnahmen sind einzuhaltende Mindestforderungen, mit denen Gefahrenmomente rechtzeitig erkannt und durch Handlungen so abgebaut werden können, daß die Eintrittswahrscheinlichkeit gegen Null geht.

Eine durchgehende Koordinierung der sicherheitstechnischen Maßnahmen in allen am Gesamtprozeß beteiligten Teilsystemen ist dringender denn je, wobei für jedes Teilsystem die Sicherheit für das Ganze verantwortungsbewußt gewährleistet werden muß. Es wird eine Graduierungsmethode vorgeschlagen, die aus einer Zuverlässigkeits- und einer Risikogradierung besteht, wobei die Zuverlässigkeitsgradierung Basis für die Risikogradierung bzw. die Risikogradierung eine Ergänzung und Komplettierung der Zuverlässigkeitsgradierung ist. Mit der Risikogradierung sind Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos festgelegt. Sie kann auch ein Hilfsmittel bei der Ermittlung eines Risikomaßes sein. Fakt ist, daß ein Restrisiko immer bleiben wird, das in seiner wahrscheinlichen Größe ermittelt werden muß.

Literatur

[1] Sicherheitskonzepte der Prozeßleittechnik in verfahrenstechnischen Anlagen und in Kraftwerken. Berlin, Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1987.

[2] *McGillis, D.; Allan, R. N.; Bertholdi, O.;* u. a.: Beitrag zum Rundtischgespräch über die Zuverlässigkeit von elektrischen Systemen im Namen des Studienkomitees 38 CIGRE – 28. 8.–3. 9. 1988.

[3] *Hosemann, G.; Boeck, W.:* Grundlagen der elektrischen Energietechnik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1983

[4] Über die gesetzliche Haftung des Herstellers unter Berücksichtigung des Produkthaftungsgesetzes. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie – ZVEI, Frankfurt/Main, 1988.

[5] *Kardos, J.; Lorenz, K.;* u. a.: Zuverlässigkeit und Sicherheit in der Luft- und Kältetechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1986.

[6] *Adler, G.; Knöschke, H.:* Die Klassifizierung des Zuverlässigkeitsniveaus von Elektroenergieabnehmern. Energietechnik 30 (1980) 6, S. 210–213

[7] *Franke, K.:* Einordnung industrieller Elektroenergieanlagen in Zuverlässigkeitsgrade. Energietechnik 33 (1983) 10, S. 385–387

[8] *Franke, K.:* Beitrag zur zuverlässigkeitsorientierten Bewertung elektrotechnischer Systeme innerhalb komplexer technologischer Anlagen. Technische Hochschule Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen, Diss. A, 1990

[9] *Altmann, S.:* Elektrosicherheit elektrotechnischer Anlagen. Wiss. Berichte der TH Leipzig, H. 9, 1988.

EA 6184

Nutzung des elektrischen Feldes von Starkstrom-Freileitungen für die Entwicklung eines Spannungswarngerätes

H. Junghans, Leipzig

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen

a_{ij}	Abstand zwischen dem i-ten und dem j-ten Leiter
a_{lp}	Abstand zwischen dem äußersten Hauptleiter und dem Raumpunkt P
d_m	mittlerer Leiterabstand
E_b	Bodenfeldstärke („Potentialgefälle")
E_{1ph}	Betrag des Scheitelwertes des oszillierenden Vektors (Einphasenfeld)
E_{max}, E_{3ph}	Betrag der großen Halbachse des elliptischen Drehfeldvektors
E_{min}	Betrag der kleinen Halbachse des elliptischen Drehfeldvektors
r_{HL}	Radius bzw. kapazitiver Ersatzradius der Hauptleiter
S_v	Vertikalstromdichte
T	Periodendauer
U_n	Nennspannung
y_{HL}	Höhe des untersten Hauptleiters über der Erde
κ_l	Luftleitfähigkeit
ρ_r	Raumladungsdichte
φ_{max}	Nullphasenwinkel von E_{max}
τ_{max}	Raumwinkel von E_{max}
DL	Doppelleitung
EA	Elektroenergieanlage
EL	Einfachleitung
FLS	Freileitungssystem
FOAM	freizügig ortsveränderliche Arbeitsmaschine
STM	sicherheitstechnische Mittel
SWG	Spannungswarngerät

In dem vorliegenden Beitrag werden im Rahmen der bisherigen Tätigkeit des Verfassers am Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik erzielte Forschungsergebnisse vorgestellt. Entsprechend den Ausführungen in [1] ordnet sich die behandelte Thematik in das Forschungsprofil am genannten Lehrstuhl ein.

Schwerpunkt der Arbeit des Verfassers bildete die Bewertung der Einflußgrößen des elektrischen Feldes von Starkstrom-Freileitungen sowie signalverfälschender Faktoren mit der Zielstellung, verbindliche Aussagen über die zu erwartenden Eigenschaften (z. B. der Ansprechtoleranz) eines Spannungswarngerätes (SWG) bei der Nutzung des elektrischen Feldes zur Warnsignalgewinnung abzuleiten. Spannungswarngeräte sind sicherheitstechnische Mittel (STM), die bei Arbeiten mit freizügig ortsveränderlichen Arbeitsmaschinen (FOAM) im Bereich spannungsführender Teile einer Elektroenergieanlage (EA) ein Eindringen in den gesetzlich fixierten Schutzraum um diese Teile signalisieren bzw. verhindern sollen. Weiterhin sollte geklärt werden, inwieweit Mängel zur Zeit technisch realisierter Geräte beseitigt werden können und ob es möglich ist, ein Sicherheitsgerät auf der Grundlage des am häufigsten angewendeten Wirkprinzips, der Warnsignalgewinnung aus dem elektrischen Wechselfeld, zu entwickeln. In diesem Zusammenhang wird von einem Sicherheitsgerät gesprochen, wenn das SWG das Einhalten der gesetzlich geforderten Mindestannäherungsabstände zu den unter Spannung stehenden Leiterseilen unabhängig von:

- der Frequenz und Höhe der Spannung des Freileitungssystems
- der Art des Systems (Einphasen- oder Drehstromsystem, Einfach- oder Doppelleitung, Mastkopfbild)
- der Aufstellungsvariante der FOAM
- der Arbeitsaufgabe und dem Arbeitsort
- dem Fahrzeugtyp und
- Umwelteinflüssen

ohne manuelle Eingriffe (z. B. Auswahl eines Schwellwertes) durch fachkundiges Bedienpersonal gewährleistet. Ausführlich wird diese Problematik in [2] abgehandelt.

Ausgehend von einer umfassenden Systematisierung feldbeeinflussender und signalverfälschender Einflußgrößen erfolgt ihre Bewertung auf die Aussagesicherheit bzw. Zuverlässigkeit eines SWG. Die vom Verfasser angewendeten und programmtechnisch umgesetzten 2-dimensionalen feldtheoretischen Ansätze für die Bewertung der Feldbeeinflussung durch die stationären geometrischen und elektrischen Parameter des felderzeugenden Freileitungssystems sowie durch großflächige, metallische, geerdete Objekte wurden darüber hinaus in [3] und [4] publiziert.

1. Systematik feldbeeinflussender und signalverfälschender Einflußgrößen

Die durch ein SWG zu realisierende sicherheitstechnische Aufgabe ist gebunden an die Abstandsbestimmung zwischen dem gefährdeten Teil der FOAM und dem dazu in kürzester Entfernung befindlichen, unter Spannung stehenden Teil der EA. Darüber hinaus ist das gleichzeitige Erkennen der Spannungsebene für die Gewährleistung der Stufung der Mindestannäherungsabstände in Abhängigkeit von der Spannungshöhe erforderlich. Den Ausgangspunkt für die Bewertung der Aussagesicherheit bzw. Zuverlässigkeit eines SWG bildete deshalb die Systematisierung der Einflußgrößen auf den Prozeß der Gewinnung von Signalen zur Abstandsbestimmung und Spannungsebenenerkennung. Darauf aufbauend erfolgte im Rahmen der bisher vorherrschenden materiellen technischen Voraussetzungen die theoretische und experimentelle Beschreibung der Wirkung ausgewählter Einflußgrößen auf die Auslösecharakteristik eines SWG. Das Bild 1 gibt Aufschluß über das Wirken von Einflußgruppen bei der Warnsignalgewinnung aus dem quasistationären elektrischen Feld der Starkstrom-Freileitung. Die Einflußgrößen wurden dabei den folgenden Einflußgruppen oder Themenkomplexen zugeordnet:

- stationäre bzw. quasistationäre Parameter des feldaufbauenden Freileitungssystems (FLS)
- nichtstationäre Parameter des feldaufbauenden FLS
- Randbedingungen des elektrischen Feldes
- Starkstrombeeinflussung (Elektromagnetische Beeinflussung/ EMB)
- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und
- Umwelteinflüsse.

Wie aus Bild 1 hervorgeht, wird zwischen Einflußgrößen mit direkter oder indirekter Wirkung auf den Prozeß Warnsignalgewinnung unterschieden. Von einer direkten Wirkung auf die Signalgewinnung und -verarbeitung wird dann gesprochen, wenn die Wirkung der Einflußgrößen auf die Komponenten des SWG (Aufnehmer, Auswerte- und Steuerelektronik u. a.) selbst gerichtet ist (s. a. Bild 2). Demgegenüber liegt eine indirekte Wirkung bei der Beeinflussung der Parameter des feldaufbauenden FLS vor (s. a. Bild 3). Wie den Bildern 2 und 3 weiterhin zu entnehmen ist, üben Umwelteinflüsse direkte und indirekte Wirkungen aus. Eine besondere Bedeutung für die behandelte Thematik besitzen dabei die Erscheinungen der atmosphärischen Elektrizität (s. a. Bild 4). Die stationären Parameter des FLS sind im einzelnen im Bild 5 aufgeführt. Die als Randbedingungen des elektrischen Feldes gekenn-

Dipl.-Ing. *Helge Junghans* ist wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik (Lehrstuhlinhaber Prof. Dr. sc. techn. *S. Altmann*, der TH Leipzig).

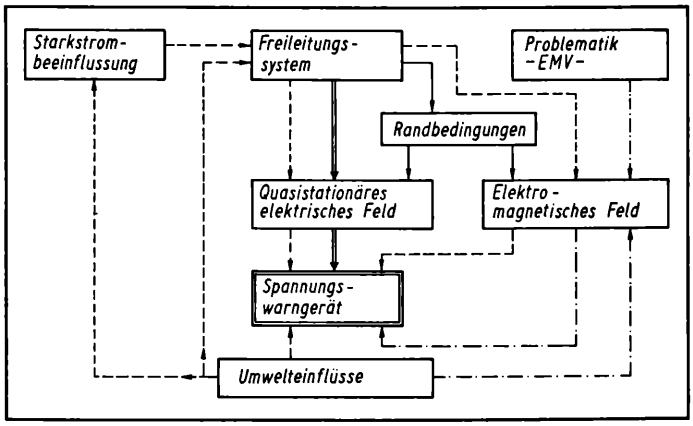


Bild 1. Wirkung der Einflußgruppen bei der Warnsignalgewinnung aus dem elektrischen Feld
- - - - indirekte Wirkung
- . - . direkte Wirkung

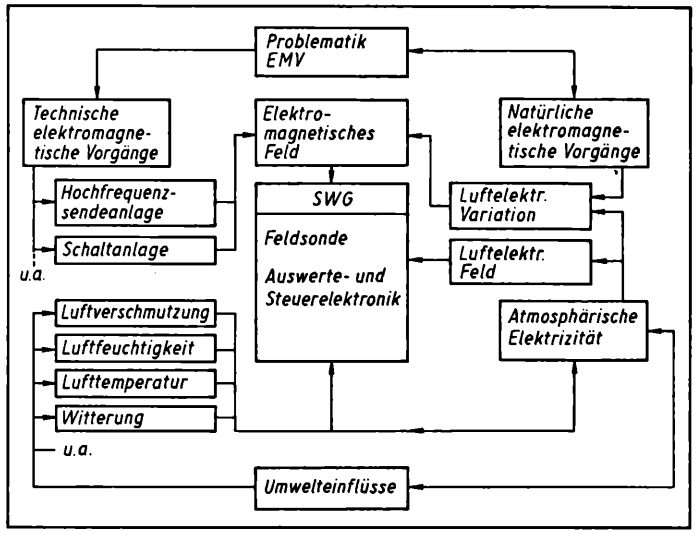


Bild 2. Direkte Einwirkung auf die Warnsignalgewinnung – EMV/Umwelteinflüsse

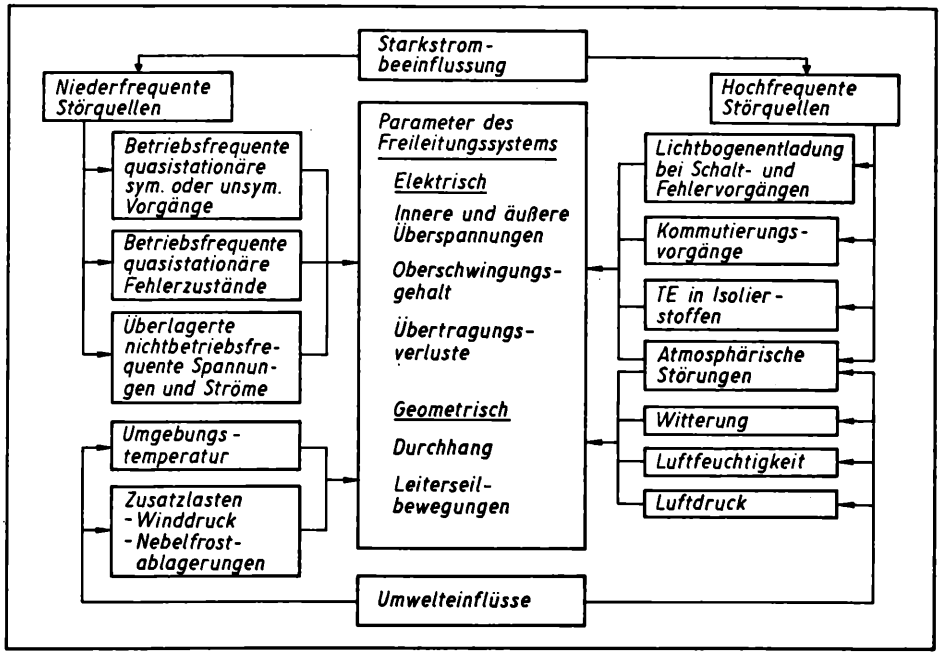


Bild 3. Indirekte Einwirkung auf die Warnsignalgewinnung – Beeinflussung der Parameter des FLS/Umwelteinflüsse

zeichneten Einflußgrößen resultieren im wesentlichen aus der Spezifik des Einsatzortes (Bebauung, Bewuchs, Beschaffenheit des Bodens u. a.), des Fahrzeugtyps (Abmessungen, Oberflächenkontur u. a.) sowie der Arbeitsaufgabe (z. B. Annäherungsart). Verallgemeinernd gesagt sind das elektrisch leitfähige, geerdete oder isolierte Objekte im betrachteten Feldgebiet, aber auch Körper mit dielektrischen Eigenschaften. Durch mögliche Veränderungen der Oberflächenkontur bzw. des Standortes der Arbeitsmaschine übt diese einen variablen Einfluß auf die Warnsignalgewinnung aus.

2. Bewertung ausgewählter Einflußgruppen

2.1. Bewertung der stationären Parameter des FLS

Die Bewertung der im Bild 5 zusammengefaßten stationären elektrischen und geometrischen Parameter des feldaufbauenden FLS auf die Auslösecharakteristik eines SWG erfolgte auf der Grundlage der Berechnung des ungestörten elektrischen Feldes (2-dimensionale Betrachtungsweise) beliebiger Mehrleitersysteme mittels konventioneller feldtheoretischer Methoden [2] [3]. Bei der mathematischen Beschreibung des Orts- und Zeitverhaltens des resultierenden Feldstärkevektors in beliebigen Aufpunkten des zu untersuchenden Feldgebietes wird zwischen dem entlang einer räumlich fixierten Achse oszillierenden Vektor des Einphasenfeldes und dem elliptischen Drehfeldvektor bei Drehstromübertragungssystemen unterschieden. Der elliptische Drehfeldvektor wird durch die Größen E_{max}, E_{min}, τ_{max}, φ_{max} eindeutig beschrieben [3].

Durch die grafische Darstellung des elektrischen Feldes als Linien mit konstantem Betrag der feldbeschreibenden Größen (Äquipotential-, Äquifeldstärkelinien u. a.) wird eine anschauliche Diskussion der räumlichen Auswirkungen von Parametervariationen auf die Auslösecharakteristik eines SWG ermöglicht.

Für FLS mit Übertragungsspannungen im Bereich U_n = 380 V bis 380 kV wurden die typischen Variationsbereiche der Parameter unter dem Gesichtspunkt praxisrelevanter Parameterkonfigurationen ermittelt. Auf der Grundlage derzeit gültiger Standards (z. B. TGL 200-0614, TGL 190-614 und TGL 38 566) wurden 16 verschiedene Konfigurationen mit den für die jeweilige Spannungsebene typischen Mastkopfbildern ausgewählt und die Äquifeldstärkelinien berechnet. Beispielhaft ist in der Tafel 1 die aus dem Verlauf der Äquifeldstärkelinien mit E_{max} = 0,05 kV/m entnommene Streuung des Auslöseabstandes eines SWG, bedingt durch die Konfigurationen der stationären Parameter des FLS, angegeben. Eine getrennte Diskussion der stationären geometrischen Parameter des FLS ist auf der Grundlage der Berechnung der Äquilinien von E_{max}/U_n möglich. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind für den Verlauf der Äquilinie mit E_{max}/U_n = 0,003 m^{-1} ebenfalls in der Tafel 1 aufgeführt. Die so ermittelte Abhängigkeit der Auslösecharakteristik eines SWG von den geometrischen Parametern des FLS läßt sich aus der Sicht des Verfassers wie folgt weiter diskutieren. Bei der Signalgewinnung und -verarbeitung mit dem Ziel der Abstandsbestimmung und Spannungsebenen-Erkennung muß bei Drehstromübertragungssystemen neben der proportionalen betragsmäßigen Änderung der Feldgrößen in Abhängig-

keit von der Höhe der Leiterspannung (Symmetrie des Dreiphasensystems vorausgesetzt) die durch die verschiedenen Hauptleiteranordnungen (Mastkopfbild) und Abstandsänderungen zwischen den Hauptleitern (mittlerer Leiterabstand d_m) bedingte Feldänderung in dem betrachteten Raumpunkt Berücksichtigung finden. Der mittlere Leiterabstand berechnet sich für Einfachleitungen aus

$$d_m = \sqrt[3]{a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{13}}$$

Bei der Berechnung von d_m für Doppelleitungen findet die gegenseitige Beeinflussung der Systeme durch Multiplikation des Wertes nach Gleichung (1) mit einem Korrekturfaktor nach [2] Berücksichtigung. Eine Quantifizierung des Einflusses der Hauptleiterab-

Tafel 1. Streuung der Auslösecharakteristik eines SWG, bedingt durch die Konfiguration der stationären Parameter des FLS

U_n	r_{HL}	y_{HL}	d_m	Abstand der Äquilinie E_{max} = 0,05 kV/m	E_{max}/U_n = 0,003 m^{-1}	Mastkopfbild
in kV	in mm	in m	in m	in m	in m	
0,38		7,15	0,842	0,8	5,5	Dreieck/EL
		10,5	2,142	7,6– 9,0	10,5–12,3	horizontal/EL
		9	1,33	5,6– 6,6	7,4– 8,4	Dreieck/EL
10		9	1,33	5,6– 6,6	7,6– 8,4	Dreieck/EL
		13,7	2,25	9,8– 12,8	13,9–17,0	horizontal/unsymmetrisch/EL
	5,25					
		10,5	1,994	7,2– 7,8	8,4–10,6	Dreieck/DL
		9	1,446	7,3– 7,8	8,7– 9,4	vertikal/DL
		15	3,254	18,4– 22,4	12,6–15,8	horizontal/DL
30		16	5,099	18,2– 20,1	13,7–16,4	Tanne/DL
		17	4,099	18,2– 19,0	13,2–16,2	Tonne/DL
		20,5	7,183	20,6– 20,8	14,4–17,6	Donau/DL
		17,57	3,544	36,4– 41,4	12,3–14,0	horizontal/DL
110	8,65	14,2	5,03	26,3– 28,0	13,4–15,9	Tanne/DL
		14	5,12	23,0– 46,0	13,8–14,8	Tonne/DL
220	62,0	23,47	5,26	73,0– 77,5	17,0–20,0	horizontal/DL
380	177,0	27,0	9,62	194,0–196,0	21,5–26,0	Donau/DL

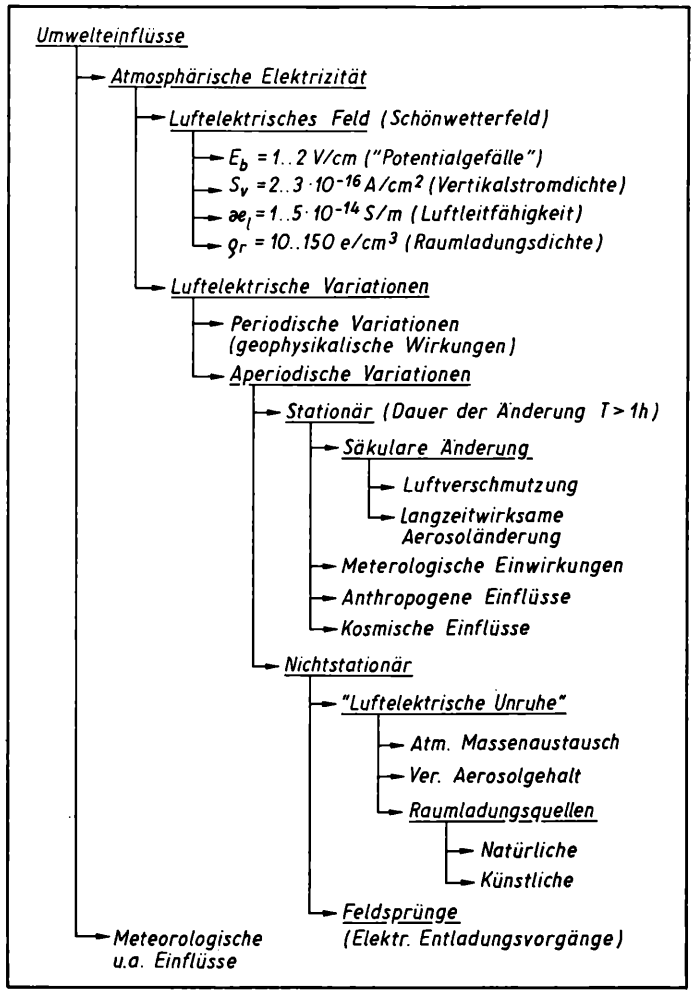


Bild 4. Übersicht wirkender Umwelteinflüsse

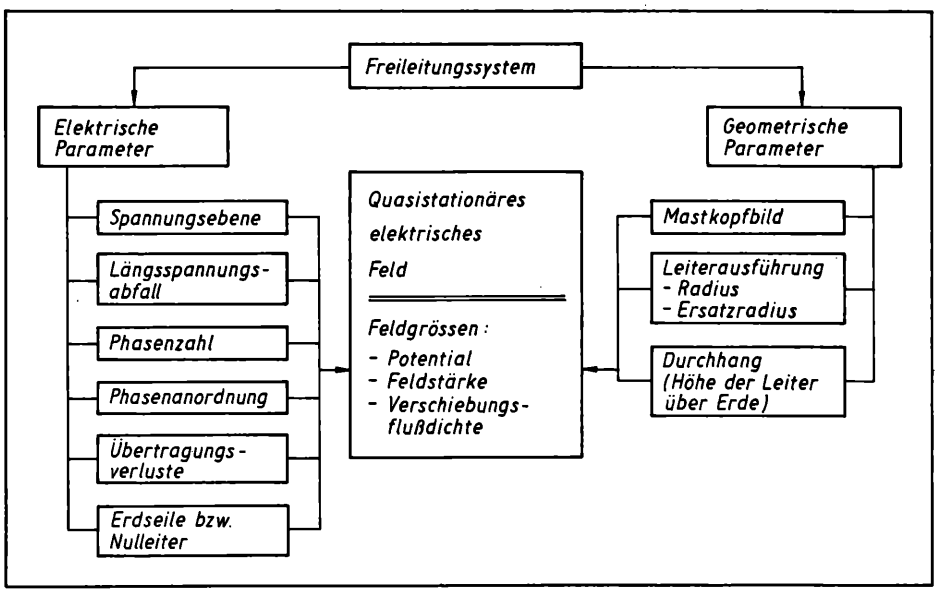


Bild 5. Stationäre Parameter des feldaufbauenden FLS

stände auf den Betrag der resultierenden Feldstärke des ungestörten Feldes wurde auf der Grundlage des Vergleiches zwischen dem Einphasenfeld (E_{1ph}) und dem Drehstromfeld (E_{3ph}) vorgenommen. Im Bild 6 ist für 3 verschiedene Hauptleiteranordnungen die Abhängigkeit

$$\frac{E_{3ph}}{E_{1ph}} = f\left(\frac{a_{1p}}{d_m}\right)$$

diagrammatisch wiedergegeben. Dabei wurde der Quotient a_{1p}/d_m logarithmisch abgetragen. Die geometrische Deutung des Abstandes a_{1p} ist aus Bild 6 ersichtlich.

An dieser Stelle konnten nur kurz einige Gesichtspunkte der bearbeiteten Thematik aufgeworfen werden. Weiterführend sei deshalb nochmals auf [2] verwiesen.

2.2. Bewertung der Randbedingungen des elektrischen Feldes

Wie bereits ausgeführt wurde, weist diese Einflußgruppe eine außerordentlich große Komplexität und Vielfalt auf. Die veränderlich feldverzerrende Wirkung der FOAM verkompliziert den Prozeß der Gewinnung eines abstandsproportionalen Signales. Im Rahmen von [2] erfolgte die theoretische Beschreibung des Einflusses leitfähiger Objekte auf das quasistationäre elektrische Feld des FLS auf der Grundlage klassischer Methoden der Feldtheorie [4]. An dieser Stelle sei auf die Spiegelungsmethode und die Möglichkeit hingewiesen, unter zu Hilfenahme des *Schwarz-Christoffelschen*-Abbildungssatzes, die Methode der konformen Abbildungen für die Beschreibung des Feldes im Bereich langgestreckter Elektroden mit polygonaler Oberflächenkontur anzuwenden.

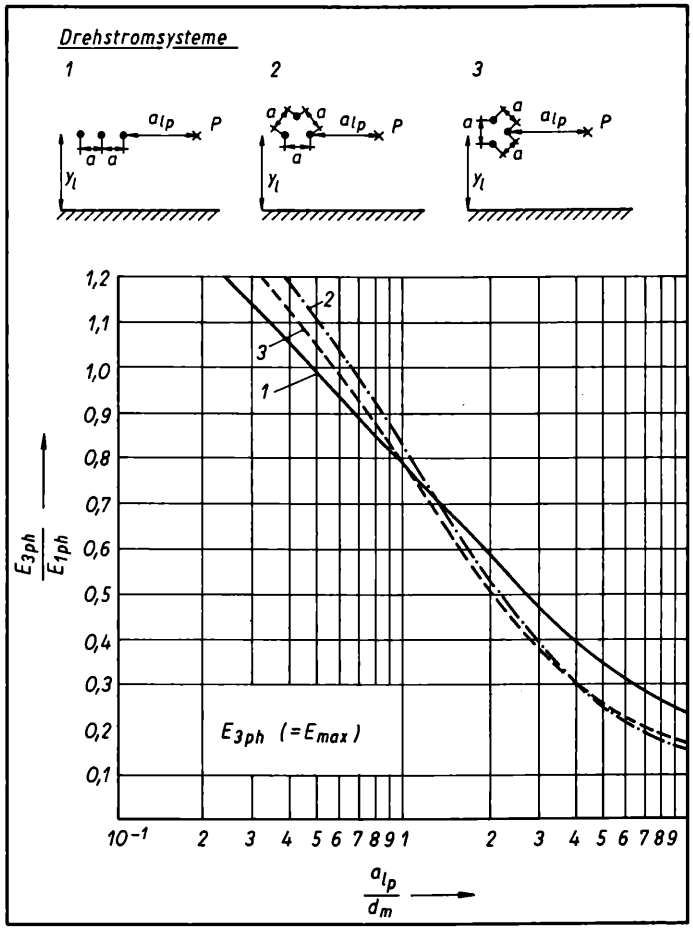


Bild 6. Vergleich zwischen dem Einphasen- und dem Drehstromfeld – Einfluß der Leiter-Leiter-Abstände auf die elektrische Feldstärke

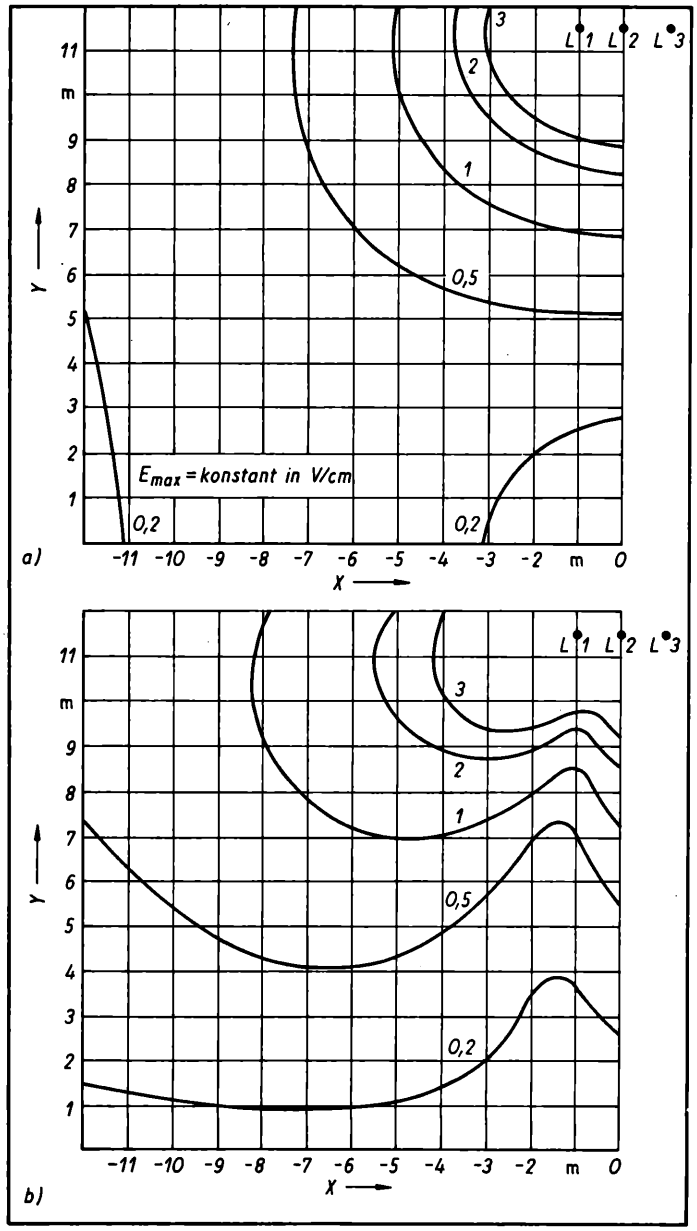


Bild 7. Vergleich zwischen den Äquifeldstärkelinien des ungestörten und gestörten Feldes

Ergebnisse der experimentellen Untersuchung des feldverzerrenden Einflusses der FOAM unter praxisnahen Feldbedingungen eines SWG werden in einem weiteren Beitrag dieses Heftes vorgestellt. An dieser Stelle einige verallgemeinernde Aussagen zu den Ergebnissen der durchgeführten theoretischen und experimentellen Untersuchungen. Erscheinungen der Einsatzortspezifik, wie z. B. Gebäude, Freileitungsmaste, Bewuchs, aber auch die zu schützende FOAM selbst, sind in guter Näherung als Äquipotentialflächen des quaistationären elektrischen Feldes anzusehen. Die Funktionseigenschaften eines SWG (z. B. Auslösecharakteristik) können nur unter Berücksichtigung der konkreten Einsatzbedingungen, die maßgeblich durch das Wirken dieser Einflußgruppe geprägt sind, mit der von potentiellen Anwendern geforderten Genauigkeit und Verbindlichkeit ermittelt werden.

Bei der Warnsignalgewinnung mittels kapazitiver Aufnehmer aus dem elektrischen Wechselfeld ist die Beeinflussung der Signalhöhe durch leitfähige Objekte abhängig von

- der Lage (Abstand zum kapazitiven Aufnehmer bzw. Lage bezüglich der Achse Aufnehmer-FLS)
- den Abmessungen und
- der Oberflächenkontur.

Die Anbringung der Sensoren an der FOAM muß so erfolgen, daß diese nicht der veränderlichen Schirmwirkung durch den Ausleger, der Last oder anderer beweglicher Objekte ausgesetzt sind. Anderenfalls muß dieser Einfluß auf den entsprechenden Sensor bewertet werden und bei der Signalverarbeitung Berücksichtigung finden (z. B. vom Neigungswinkel des Auslegers abhängige Schwellwertbeeinflussung). Weiterführende theoretische und experimentelle Untersuchungen in Bezug auf mögliche Signalverknüpfungen mit dem Ziel der Abstandsbestimmung und automatischen Spannungsebenen-Erkennung müssen für den Fall des durch die FOAM gestörten Feldes vorgenommen werden. Die Gegenüberstellung von Äquifeldstärkelinien des ungestörten elektrischen Feldes eines Drehstromsystems mit horizontaler Hauptleiteranordnung (Bild 7a) und den, unter den nachfolgend beschriebenen Bedingungen ermittelten, gestörten Feldverhältnissen (Bild 7b) soll diese Aussage bekräftigen. Der Verlauf der Äquifeldstärkelinien in Bild 7b ergibt sich unter folgenden Voraussetzungen. Ausgangspunkt der Betrachtungen ist das durch eine rechtwinklig zur Erdoberfläche gerichtete, leitfähige Ebene gestörte Feld [4]. Ausgewählt wird ein Betrachtungspunkt mit unveränderlicher relativer Lage bezüglich der Oberkante der leitfähigen Ebene (im Bild 7b betragen der horizontale und der vertikale Abstand zur Oberkante 0,5 m). Die Stützpunktkoordinaten der vorgegebenen Äquifeldstärkelinie werden ermittelt, indem die Höhe der Oberkante der leitfähigen Ebene über der Erde und/oder der seitliche Abstand zur Achse des FLS so lange variiert werden, bis die Feldstärke im Betrachtungspunkt den Wert der Äquilinie annimmt. Der veränderte Verlauf der Kurven gegenüber dem ungestörten Feld nach Bild 7a ist Ausdruck der abschnittsweise feldstärkeerhöhenden, aber auch abschirmenden Wirkung durch die leitfähige Ebene.

3. Konzeptionelle Aussagen zur Verbesserung der Funktionseigenschaften eines SWG

Der technisch einfach zu realisierenden Gewinnung von Signalen mittels kapazitiver Aufnehmer aus dem elektrischen Wechselfeld der EA steht die Problematik der Beherrschung der feldbeeinflussenden und signalverfälschenden Einflußgrößen gegenüber. Wie

die Ausführungen gezeigt haben, ist selbst bei Einschränkung auf Starkstrom-Freileitungen als Felderzeuger die Auswertung der an der FOAM gewonnenen Signale mit dem Ziel der Abstandsbestimmung zum nächstliegenden Leiterseil und der Spannungsebenen-Erkennung wesentlich komplizierter als zunächst in der Regel angenommen wird. Im Ergebnis der Bewertung ausgewählter Einflußgrößen werden in [2] Aussagen zur Sondengestaltung und -anbringung sowie zur Auswahl eines geeigneten Auslöseprinzips (Schwellwertbeeinflussung) getroffen. Die Entwicklung eines Sicherheitsgerätes ist an eine automatische Schwellwertbeeinflussung gebunden. Das setzt das Erfassen von Informationen über die Annäherungsart bzw. sich vollziehende Veränderungen der Außenkontur der FOAM voraus und ist an eine rechnergestützte Meßwerterfassung sowie -verarbeitung gekoppelt. Anknüpfend an die Ergebnisse in [2] ist der Schwerpunkt bei der Weiterbearbeitung der gestellten Thematik auf eine detailliertere Beschreibung der struktur- und betragsmäßigen Änderungen des elektrischen Feldes durch Bewegung sowie Veränderung der Außenkontur der FOAM zu legen (Simulation auf der Grundlage 3-D-Feldberechnungen).

Literatur

[1] *Altmann, S.*: 10 Jahre Applikationsforschung am Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Leipzig. ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 163–164

[2] *Junghans, H.*: Bewertung der Einflußgrößen des elektrischen Feldes von Starkstrom-Freileitungen sowie signalverfälschender Faktoren auf die Aussagesicherheit bzw. Zuverlässigkeit von Spannungswarngeräten. Dissertation A (Entwurf), TH Leipzig, Sekt. Elektroenergieanlagen (1990)

[3] *Junghans, H.; Winkler, H.; Szuba, M.*: Theoretische Analyse des elektrischen Feldes beliebiger Freileitungssysteme-Modellbildung. ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 350–352

[4] *Junghans, H.*: Anwendung klassischer Methoden der Feldtheorie für eine erste Bewertung feldverzerrender Einflußfaktoren des elektrischen Feldes von Starkstrom-Freileitungen. ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 171–174

EA 6185

Experimentelle Untersuchungen zur Warnsignalgewinnung eines Spannungswarngerätes unter Einsatzbedingungen

M. Jahn; H. Junghans; Leipzig

Im Rahmen der Entwicklung von Spannungswarngeräten (SWG) wurden in [1] in der Fachliteratur vorgeschlagene Wirkprinzipien von SWG durch praktische Untersuchungen auf ihre Anwendbarkeit für freizügig ortsveränderliche Arbeitsmaschinen (FOAM) geprüft und praktische Erkenntnisse über den Einfluß der FOAM auf das elektrische Feld gewonnen. Allgemeine Gesichtspunkte des Einsatzes von SWG an FOAM bei Arbeiten im Bereich unter Spannung stehender Teile einer Elektroenergieanlage (EA) werden in zwei weiteren Beiträgen dieses Heftes ausgeführt. Auf diesbezügliche Erläuterungen kann deshalb an dieser Stelle verzichtet werden.

1. Recherche vorgeschlagener Wirkprinzipien von SWG

Recherchiert wurden Wirkprinzipien, bei denen das elektrische Wechselfeld der EA zur Warnsignalgewinnung genutzt wird. Dabei wurden die Bereiche der Signalgewinnung mittels kapazitiver Aufnehmer (Aufnehmeranordnungen) und der Signalverarbeitung mit dem Ziel der Abstandsbestimmung und Spannungsebenenerkennung erfaßt. Betrachtet man die Signalgewinnung, kann nach der konkreten Sondengestaltung und der Sondenanbringung unterschieden werden. Lösungsvorschläge hierzu sind [2] [3] [4] und [5] entnehmbar. Darüber hinaus wird bei kapazitiven Sonden durch die Dimensionierung der Eingangsimpedanz der Typ der Sonde bestimmt (Potentialsonde, E-Sonde, $\partial D/\partial t$-Sonde).

Wie bereits angedeutet wurde, sind durch eine entsprechende Signalverarbeitung zwei grundlegende Funktionen zu realisieren:

1. die Abstandsbestimmung zwischen dem gefährdeten Teil der FOAM und dem nächstliegenden, unter Spannung stehenden Teil der EA und
2. die Erkennung der Spannungsebene, um die gesetzlich geforderte Stufung der Mindestannäherungsabstände in Abhängigkeit von der Spannungsebene zu realisieren (z. B. TGL 30490).

Technisch realisierte SWG erfüllen bisher nicht die Forderung nach einer automatischen Spannungsebenenerkennung. Ein Vorschlag zur Spannungsebenenerkennung wird in [3] erläutert. Es wird vorgeschlagen, die Signale zweier Sensoren zu nutzen, wobei ein Sensor an der dem Freileitungssystem zugewandten und ein Sensor an der abgewandten Seite des Auslegers befestigt ist. Die so gemessenen Feldstärkewerte E_1 und E_2 werden mittels der Ansprechbedingungen nach [3]

$$\lg(E_1) - m \cdot \lg(E_2) \geqq n \qquad (1)$$

Zur Bestimmung der Spannungsebene herangezogen. Die Größen m und n in der Gleichung (1) sind für die verschiedenen Spannungsebenen, wie in [3] weiter ausgeführt wird, empirisch ermittelt worden.

Bei einem in [6] vorgeschlagenen Prinzip werden 4 Sensoren kreisförmig auf dem Dach angeordnet. Die maximale Feldstärkediffe-

Dipl.-Ing. *Mathias Jahn* war zur Zeit der Ausarbeitung des vorliegenden Beitrages Diplomand am Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik (Lehrstuhlinhaber Prof. Dr. sc. techn. *S. Altmann*, der TH Leipzig). Dipl.-Ing. *Helge Junghans* ist wissenschaftlicher Assistent am o. g. Lehrstuhl.

renz zweier Sensoren wird ermittelt und mit einem Schwellwert verglichen.
Für die Abstandsbestimmung wird in der Regel die Quotientenbildung zweier Feldstärkewerte in verschiedenen Punkten an der FOAM als praktikable Lösung angesehen. In [7] wird darauf verwiesen, daß der veränderlich feldverzerrende Einfluß der FOAM die Auswertung eines auf diese Weise gebildeten Quotienten zweier Feldstärkewerte erheblich erschwert. An gleicher Stelle wird deshalb vorgeschlagen, den Quotienten zweier feldgrößenproportionaler Signale in ein und demselben Raumpunkt zu bilden. Bei dieser Variante könnte auf die häufig komplizierte Anbringung von Mehrsondenanordnungen verzichtet werden. Für die Durchführung der experimentellen Untersuchungen wurde deshalb vom Verfasser im Rahmen von [1] eine kombinierte Potential-/Feldstärkesonde aufgebaut und praktisch erprobt.

2. Praktische Untersuchungen unter Einsatzbedingungen

2.1. Charakteristik der Versuchsbedingungen

Nach [8] werden die folgenden Sondentypen zur Messung niederfrequenter (50/60 Hz) elektrischer Felder von EA unterschieden:
- Doppelsonden (potentialfreie Sonde)
- Referenzsonden und
- elektrooptische Sonden.

Doppelsonden und Referenzsonden sind Kapazitätssonden. Entsprechend der Dimensionierung der Eingangsimpendanz der Sonde wird bestimmt, ob das Meßsignal der auf den Elektroden influenzierten Ladungsmenge (hochohmige Messung) oder dem eingeprägten dielektrischen Verschiebestrom (niederohmige Messung) proportional ist. Zur Durchführung der praktischen Felduntersuchungen wurde eine Kombination einer Referenzsonde und einer Doppelsonde, mit der es möglich ist, das elektrische Potential und die Feldstärke zu messen, entworfen und realisiert. Der konstruktive Aufbau der kombinierten Potential-/Feldstärkesonde ist aus Bild 1 ersichtlich.
Es handelt sich dabei um eine Kugelanordnung mit zwei gegeneinander isolierten Halbkugelelektroden. Die Signalverarbeitung erfolgt im Inneren der Sonde hochohmig über Impedanzwandlerstufen. Den Impedanzwandlerstufen ist ein Differenzverstärker nachgeschaltet, und die Meßbereichsumschaltung wird durch die veränderliche Verstärkung einer nachfolgenden Verstärkerstufe realisiert. Ein 50-Hz-Filter sorgt für eine selektive Signalverarbeitung. Die Umschaltung auf Feldstärke- bzw. Potentialmessung erfolgt gleichspannungsgesteuert durch ein Miniaturrelais in der Sonde. Die Schaltung ist in Operationsverstärkertechnik ausgeführt.

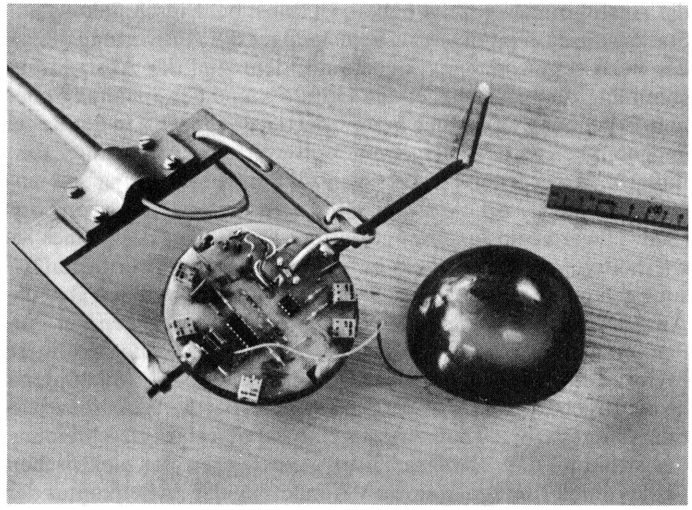


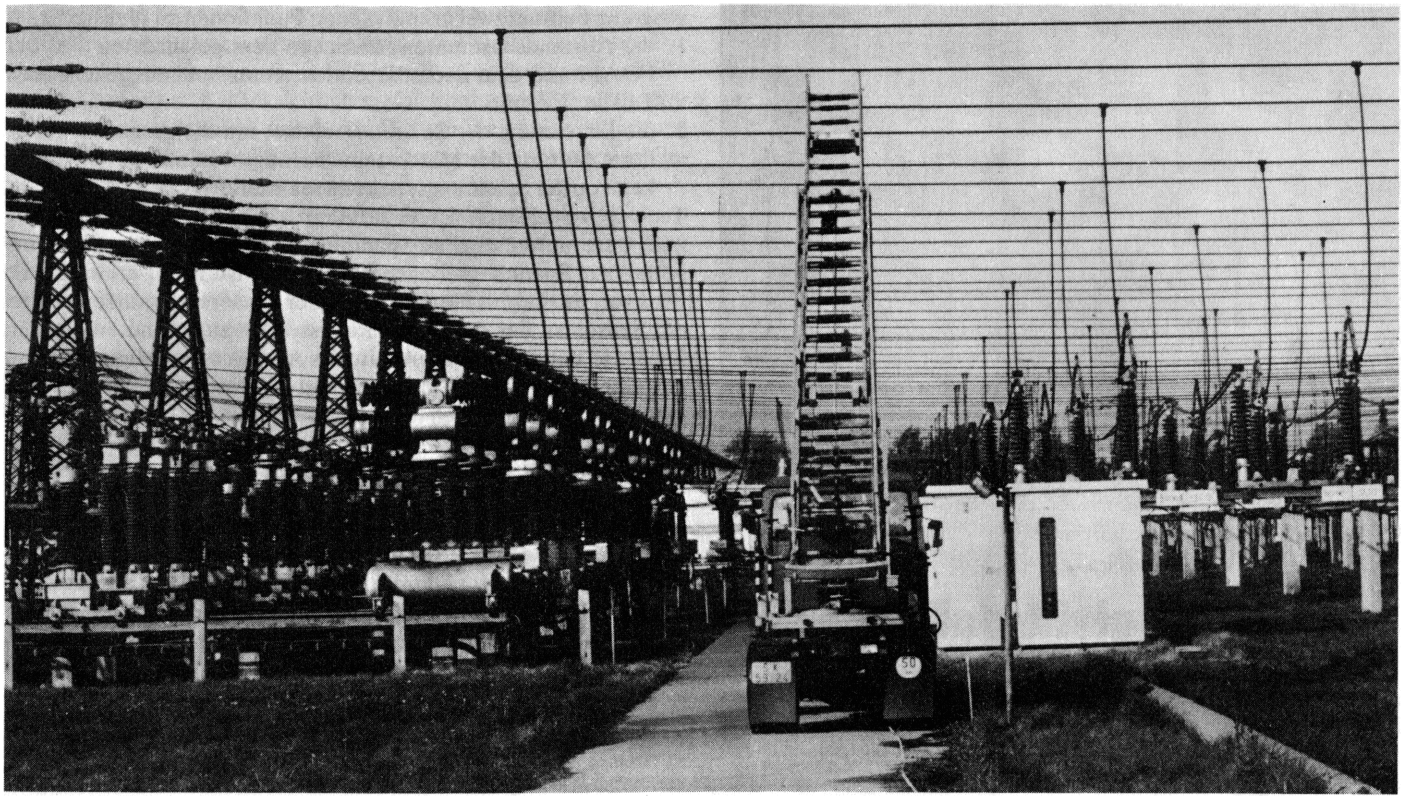
Bild 1. Ansicht der kombinierten Potential-/Feldstärkesonde

Bei der Feldstärkemessung wird die Potentialdifferenz zwischen den zwei Halbkugelelektroden ausgewertet. Dabei verhält sich das Meßsignal proportional zum Effektivwert der Projektion des resultierenden Feldstärkevektors auf die Sensorachse (Gerade durch die Pole der Halbkugelelektroden). In der entsprechenden Fachliteratur wird der Feldstärkeerhöhungsfaktor für eine Kugelelektrode gegenüber dem ursprünglich homogenen Feld hergeleitet (z. B. [9]). Somit gilt

$$E = -3\,E_0 \cos\alpha \qquad (2)$$

E Feldstärkekomponente in Richtung der Sensorachse
E_0 Feldstärke im Meßpunkt ohne Kugel (homogenes Feld)
α Winkel zwischen dem Feldstärkevektor des homogenen Feldes und der Sensorachse.
Die Kalibrierung der Sonde wurde entsprechend den Forderungen in [8] vorgenommen. Es besteht damit der folgende Zusammen-

Bild 2. Gesamtansicht der Versuchsbedingungen im Umspannwerk



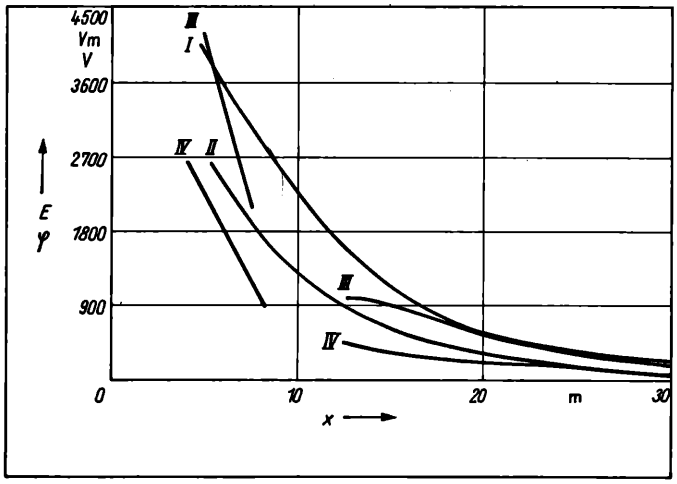


Bild 3. Gemessener Potential- und Feldstärkeverlauf des ungestörten und gestörten Feldes. Meßhöhe 3,3 m
y = 3,3 m; I: $\varphi = f(x)$, II: $E = f(x)$, ungestörtes elektrisches Feld
III: $\varphi = f(x)$, IV: $E = f(x)$, gestörtes elektrisches Feld

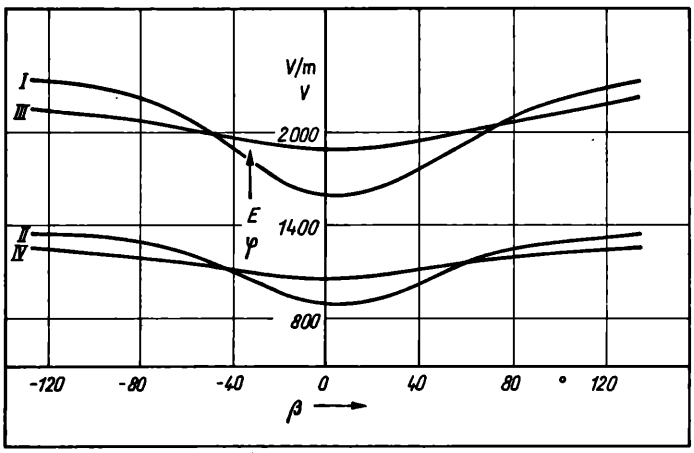


Bild 4: Gemessener Potential- und Feldstärkeverlauf beim Schwenken des Auslegers, Sensor am Fahrzeugdach
I: $\varphi = f(\beta)$, II: $E = f(\beta)$, Auslegerlänge: 6,3 m, Neigungswinkel: 37°
III: $\varphi = f(\beta)$, IV: $E = f(\beta)$, Auslegerlänge: 9,2 m, Neigungswinkel: 60°

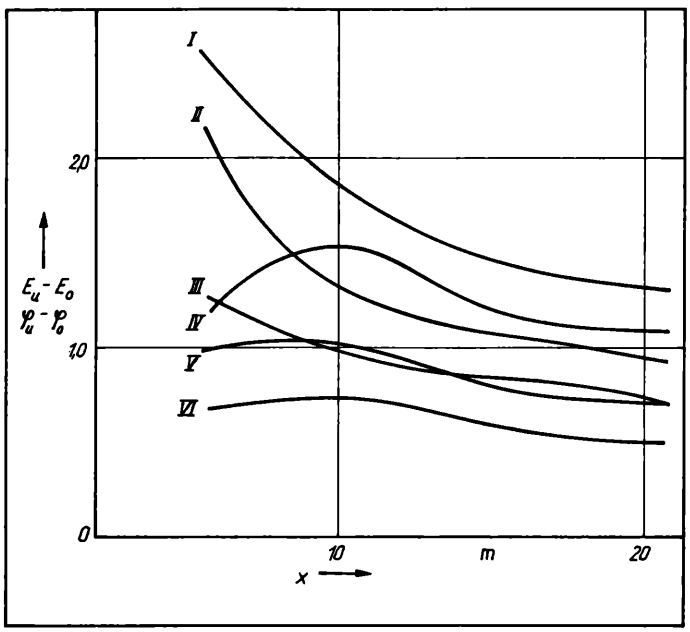


Bild 5. Quotient der Potentiale bzw. der Feldstärken zweier Sensoren mit gleicher Meßhöhe ober- und unterhalb des Auslegers als Funktion des Abstandes Fahrzeug–Leiterseil
Sondenabstand: 0,3 m; Neigungswinkel: 38°; Schwenkwinkel: 0°;
I: $E_u/E_0 = f(x)$, I = 0,2 m; II: $E_u/E_0 = f(x)$, I = 1,4 m; III: $E_u/E_0 = f(x)$, I = 2,6 m; IV: $\varphi_u/\varphi_0 = f(x)$, I = 0,2 m; V: $\varphi_u/\varphi_0 = f(x)$, I = 1,4 m; VI: $\varphi_u/\varphi_0 = f(x)$, I = 2,6 m;

hang zwischen der Ausgangsspannung der Sonde und der herrschenden Feldstärke im Meßpunkt

$$E = \frac{K_E U_o}{3 A_r} \tag{3}$$

U_0 Ausgangsspannung
A_r Gesamtverstärkung der Meßschaltung
K_E Kalibrierungskonstante der Feldstärke.
Mit dieser Sonde können Feldstärken im Bereich von minimal 10 V/m bis maximal 15 kV/m gemessen werden.
Die Potentialmessung erfolgt durch hochohmige Messung des Kugelpotentials (beide Halbkugelelektroden galvanisch verbunden) bezogen auf das Massepotential der elektronischen Schaltung. Die Kalibrierung erfolgte ebenfalls entsprechend den Forderungen in [8]. Analog besteht zwischen der Ausgangsspannung der Sonde und dem Potential des elektrischen Feldes im Meßpunkt die Beziehung

$$\varphi = \frac{K\varphi U_o}{A_r} \tag{4}$$

K_φ Kalibrierungskonstante des Potentials.
Die experimentellen Untersuchungen wurden in einem Umspannwerk auf der Schalterstraße eines 110-kV-Freileitungsabgangsfeldes durchgeführt. Als FOAM diente ein Kranfahrzeug vom Typ Multicar (s. Bild 2). Die Messung der Größen des elektrischen Feldes wurde mit der beschriebenen Sonde vorgenommen. In jedem Meßpunkt wurden das Potential und der Betrag der großen Halbachse des elliptischen Drehfeldes [7] ermittelt. Dazu war es erforderlich, die Sonde drehbar am Meßstab zu befestigen.
Für die Auswertung der Messungen wurde der Ursprung des kartesischen Koordinatensystems in die Mitte der Schalterstraße senkrecht unter das äußerste Leiterseil gelegt. Als Bezugspunkt am Fahrzeug wurde die Vorderkante der Fahrerkabine gewählt. Bei allen Messungen wurde das Fahrzeug rechtwinklig zu den Leiterseilen aufgestellt, wobei die Fahrerkabine in Richtung der Leiterseile orientiert war. (s. Bild 2). Während der Messungen war das Fahrzeug geerdet.

2.2. Diskussion der Meßergebnisse

Im ersten Abschnitt der Untersuchungen wurde das elektrische Feld der 110-kV-Leiterseile der Überspannung des Abgangsfeldes rasterförmig ausgemessen. Im Bild 3 ist zu erkennen, daß mit wachsendem Abstand die Feldstärke und das Potential erwartungsgemäß monoton abnehmen. Der Quotient, gebildet aus der Feldstärke und dem Potential, weist bei konstanter Meßhöhe mit zunehmendem Abstand zu den Leiterseilen nur eine unbedeutende Änderung auf.
Für die Messung der durch das Kranfahrzeug gestörten Feldverhältnisse wurde dieses in unterschiedlichem seitlichen Abstand zu den Leiterseilen aufgestellt. Dabei blieb die Auslegergeometrie (Länge, Neigungswinkel, Schwenkwinkel) unverändert. Dem Bild 3 ist ebenfalls der gemessene Potential- und Feldstärkeverlauf des gestörten Feldes zu entnehmen. Der Vergleich mit dem ungestörten Feld zeigt, daß der Verlauf des Potentials stärker durch das Kranfahrzeug beeinflußt wurde als der Feldstärkeverlauf bei gleicher Meßhöhe. Dieser Sachverhalt äußert sich auch in dem Ansteigen des Quotienten der Beträge der Feldstärke und des Potentials (E/φ) bei Annäherung an das Fahrzeug. Eine Beeinflussung des elektrischen Feldes der EA durch das Kranfahrzeug wurde bis zu einer Entfernung zu diesem von etwa 5 m meßtechnisch ermittelt. Dabei muß einschränkend festgestellt werden, daß dieser Wert von der Meßhöhe abhängig ist.
Vergleichsmessungen bei geerdetem und nichtgeerdetem Fahrzeug haben gezeigt, daß bei nichtgeerdetem Fahrzeug (trockene Gummibereifung) eine geringere Potentialabsenkung auftritt.
Im Bild 4 sind Untersuchungsergebnisse zur Sondenanbringung am Fahrzeugdach dargestellt. Das Fahrzeug befand sich bei dieser Untersuchung in einem seitlichen Abstand zum äußersten Leiterseil von 8 m (x = 8 m). Dabei wurde bei zwei verschiedenen Auslegerlängen und Neigungswinkeln der Schwenkwinkel variiert. Den Kurvenverläufen ist zu entnehmen, daß die Feldbeeinflussung ab-

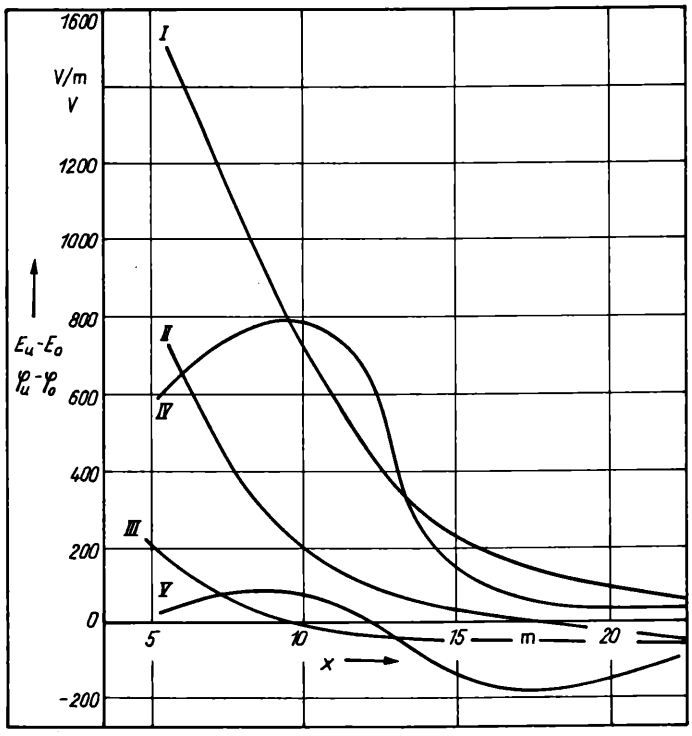


Bild 6. Differenz der Potentiale bzw. der Feldstärken zweier Sensoren mit gleicher Meßhöhe ober- und unterhalb des Auslegers als Funktion des Abstandes Fahrzeug-Leiterseil
Sondenabstand: 0,3 m; Neigungswinkel: 38°; Schwenkwinkel: 0°;
I: E_u-E_0 = f(x), l = 0,2 m;
II: E_u-E_0 = f(x), l = 1,4 m;
III: E_u-E_0 = f(x), l = 2,6 m;
IV: φ_u-φ_0 = f(x), l = 0,2 m;
V: φ_u-φ_0 = f(x), l = 1,4 m

hängig ist von der Auslegergeometrie und dem Schwenkwinkel. Eine Vergrößerung der Auslegerlänge und des Neigungswinkels führt zu einer weiträumigeren Beeinflussung der Feldstruktur. Prinzipiell ist die Änderung der am Fahrzeugdach gewonnenen Signale abhängig vom Abstand des Auslegers zu den Sonden. Dabei werden das Potential und die gemessene Feldstärke gleichermaßen beeinflußt. Die hier kurz umrissene Problematik muß nach Ansicht der Verfasser zu der Aussage führen, daß Sonden zur Warnsignalgewinnung nicht an Stellen der FOAM befestigt werden können, in denen sie der veränderlichen Schirmwirkung metallischer Objekte (Ausleger, Lasttragehilfsmittel und die Last selbst) ausgesetzt sind. Somit ist auch die Anbringung am Fahrzeugdach nicht zu empfehlen. Des weiteren wurde die Anbringung von Sonden am Ausleger untersucht. Dazu wurde bei festem Fahrzeugstandort der rechtwinklige Abstand der Sonde zur Oberfläche des Auslegers variiert. Es konnte festgestellt werden, daß bei Verdopplung dieses Abstandes (von 0,3 m auf 0,6 m) das Potential um das 1,4fache ansteigt, die Feldstärke hingegen um das 0,8fache abnimmt. Aus dieser Sicht erscheint die Anordnung von Sonden mit veränderlichem Abstand zur Auslegeroberfläche (z. B. drehbar gelagerte Mehrsondenanordnung am Ausleger) als unzweckmäßig. Die Verfasser sind der Meinung, daß nur eine starre Befestigung von Sensoren am Ausleger sinnvoll ist.

Andere Messungen wurden mit dem Ziel der Überprüfung von Prinzipien zur Abstandsbestimmung und Spannungsebenenerkennung durchgeführt. Hierzu wurde die Feldstärke- und Potentialverteilung entlang des Auslegers (ober- und unterhalb) bei konstantem Abstand der Sonde zur Auslegeroberfläche ermittelt. Diese Messungen wurden für Fahrzeugstandorte in 6, 10, 15 und 20 m seitlichem Abstand zum äußersten Leiterseil der Überspannung vorgenommen. Die Höhe der Leiterspitze über der Erde war 3 m niedriger als die entsprechende Höhe der Leiterseile in dieser Ebene. Für diesen Fall wurden in jedem der aufgeführten Fahrzeugstandorte die maximale Feldstärke und das Potentialmaximum an der Auslegerspitze ermittelt. Die Meßergebnisse bildeten die Grundlage für die nachfolgenden Betrachtungen.

Bildet man die Differenz oder den Quotienten zweier feldstärkeproportionaler Signale, gemessen oberhalb und unterhalb des Auslegers mit dem gleichen Abstand zur Auslegerspitze, so konnte kein monoton abnehmender Kurvenverlauf mit wachsendem Abstand des Fahrzeuges zu den Leiterseilen ermittelt werden. Analog gilt diese Aussage für die Potentialdifferenzen bzw. -quotienten. Eine derartige Signalverknüpfung erscheint deshalb nicht geeignet. Anders verhält es sich bei der Bildung von Differenzen und Quotienten der Signale zweier Sensoren (feldstärkeproportional) mit gleicher Höhe über dem Erdboden, wobei ein Sensor oberhalb und ein Sensor unterhalb des Auslegers der FOAM angebracht ist. Die sich ergebenden Kurvenverläufe sind in den Bildern 5 und 6 dargestellt. Während die Differenzen und Quotienten der Potentiale wiederum keine monotone Abnahme aufweisen (s. Bild 5, Kurven IV, V, VI und Bild 6, Kurven IV, V), liefert die Differenzen- oder Quotientenbildung der feldstärkeproportionalen Signale monoton abnehmende Kurven. Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf verwiesen, daß die getroffenen Aussagen unter den eingangs beschriebenen Versuchsbedingungen Gültigkeit besitzen. Weiterführend muß der Einfluß des Neigungswinkels und einer veränderlichen Auslegerlänge auf diese Kurvenverläufe bewertet werden. Die Analyse der Quotienten E/φ in einem Betrachtungspunkt am Ausleger ergab mit wachsendem Fahrzeugabstand zu den Leiterseilen ebenfalls keinen monoton fallenden Kurvenverlauf. Nach Ansicht der Verfasser ist es dennoch sinnvoll, diese Signalverknüpfungsart stärker in zukünftige Betrachtungen einzubeziehen. Dabei sollte insbesondere geprüft werden, inwieweit der Vergleich des Quotienten E/φ mit dem Absolutwert der Feldstärke in einem Raumpunkt Rückschlüsse auf die Spannungsebene zuläßt.

3. Ausblick

Die durchgeführten experimentellen Untersuchungen sind neben feldtheoretischen Analysen eine Grundlage für die in [7] vorgenommene Bewertung feldbeeinflussender und signalverfälschender Faktoren bei der Warnsignalgewinnung eines SWG aus dem elektrischen Wechselfeld. Den Schwerpunkt stellt die Untersuchung des feldverzerrenden Einflusses der FOAM dar. Der hohe organisatorische Aufwand bei der Vorbereitung und Durchführung der experimentellen Untersuchungen im Umspannwerk hat verdeutlicht, daß aus Effektivitätsgründen zukünftig die Priorität bei der Untersuchung von Parametervariationen auf die rechnergestützte Simulation der veränderlichen Feldstrukturen gelegt werden sollte. Gegenwärtig wird deshalb an der programmtechnischen Umsetzung eines 3-dimensionalen Ansatzes zur Feldberechnung (des in der Hochspannungstechnik häufig angewendeten Ersatzladungsverfahrens) gearbeitet.

Literatur

[1] *Jahn, M.*: Warnsignalgewinnung unter feldverzerrenden Bedingungen (Kurzthema). Diplomarbeit, TH Leipzig, SEA-1-D-90-188, 1990
[2] *Kröber, T.; Unbekannt, L.; Winkler, H.*: Entwicklung von Spannungswarngeräten für freizügig ortsveränderliche Arbeitsmaschinen. Wissenschaftlich-technischer Bericht, Leistungsstufe A2 TH Leipzig, 1987 (unveröffentlicht)
[3] *Petri, L. O.; Parachin, A. M.*: Powysenie effektivnosti zascity ot priblizenija k vozdusnym elektriceskim setjam. Bezopasnost truda v promyslennosti (1984) 4, S. 41
[4] *Schlayer, D.*: Auswertung funktionsorientierter Untersuchungen für die Entwicklung eines Spannungsschutzgerätes. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 6, S. 300–302
[5] *Veith, M.*: Ein Hochspannungswarngerät für den Einsatz auf mobilen Großgeräten. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 4, S. 210–211
[6] *Harder, A.*: Die Struktur des ungestörten elektrischen Feldes eines Einphasen-Mehrleitersystems, ihre Berechnung, Beschreibung und Nutzung als Mittel der Signalgewinnung für Spannungswarngeräte. Diplomarbeit, TH Leipzig, SEA-1-D-88-162, 1988
[7] *Junghans, H.*: Bewertung der Einflußgrößen des elektrischen Feldes von Starkstrom-Freileitungen sowie signalverfälschender Faktoren auf die Aussagesicherheit bzw. Zuverlässigkeit von Spannungswarngeräten. Dissertation A (Entwurf), TH Leipzig, Sekt. Elektroenergieanlagen, 1990
[8] Measurment of power-frequency electric fields. International Standard IEC 833. First edition, 1987
[9] *Küpfmüller, K.*: Einführung in die theoretische Elektrotechnik. 11. bearbeitete Auflage. Berlin-Heidelberg-New York-Tokio: Springer Verlag 1984

EA 6186

Elektronisches Warngerät für mobile Arbeitsmaschinen gegen gefährliche Berührungen mit spannungsführenden Leiterseilen

T. Kröber; H. Winkler; K. Sperling; Leipzig

1. Grundproblematik

Elektronische Warngeräte sind sicherheitstechnische Einrichtungen, die an freizügig ortsveränderlichen Arbeitsmaschinen (FOAM), wie Krane, Bagger, Ladegeräte usw. angebracht werden, um das Bedienpersonal derselben zu warnen, falls sich Teile der Arbeitsmaschine den spannungsführenden Leiterseilen von Freileitungssystemen (FLS) vorschriftswidrig nähern. Als Reaktion auf solche nicht selten in der Arbeitswelt auftretenden Berührungen mit blanken Leiterseilen von FLS wird seit Jahrzehnten die Entwicklung solcher Warngeräte immer wieder aufgegriffen.
Vorwegzunehmen an dieser Stelle sei, daß alle uns bekannten einschlägigen Geräte ihr Warnsignal aus dem elektrischen Wechselfeld, das sich zwischen dem Leitungssystem und der Erdoberfläche ausbildet, mittels kapazitiver Aufnehmer erhalten, und daß sich alle unsere Bemerkungen auf diese Methode beziehen. Ein kommerzieller Erfolg war jedoch keinem dieser Prototypen beschieden. Die mit diesen Geräten erzielten Erprobungsergebnisse zeigen, daß die wissenschaftlich-technische Problematik noch weiter bearbeitet werden muß, um die in der Praxis geforderte Sicherheit zu erzielen. Die Autoren verfolgen mit diesem Artikel das Ziel, ihre bisherigen Bemühungen, die mit der Lösung dieser Problematik zusammenhängen, zur Diskussion zu stellen.
Mit dem Ziel der Forschungsarbeiten wird die Entwicklung eines sicher wirkenden, technisch zuverlässigen und möglichst automatisch arbeitenden, robust aufgebauten, möglichst universell einsetzbaren Warngerätes angestrebt, welches mit ökonomisch vertretbarem Aufwand hergestellt werden kann.
Aus dieser Zielstellung lassen sich die Behandlung notwendiger Themenkomplexe, die im folgenden kurz umrissen werden sollen, ableiten, die einerseits separat, d. h. unabhängig voneinander betrachtet werden können, deren wechselseitige Bedingtheit und deren komplexes Zusammenspiel andererseits aber auch stets zu beachten sind.

1.1. Feldtheoretische Untersuchungen

Im Mittelpunkt steht hierbei die Analyse der ungestörten (d. h. idealisierten) Feldstruktur von beliebigen FLS. Der in den Untersuchungen erhaltene qualitative und quantitative Überblick über die zu erwartenden Feldverläufe [1] [2] kann zur Deutung und zur Abstützung der experimentell ermittelten Zusammenhänge dienen. Feldstrukturbetrachtungen sind aber auch ein ausgezeichnetes methodisches Hilfsmittel zur Weiterentwicklung von Spannungswarngeräten (SWG) in Hinblick auf einen automatischen Betrieb, der eine Abstandsermittlung, eine Spannungsebenenerkennung, eine Phasenzahldetektion usw. einschließt.

Dipl.-Ing. *T. Kröber* ist Entwicklungs-Applikationsingenieur an der TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen (Lehrstuhl Prof. Dr. sc. techn. *Altmann*). Dr. *H. Winkler* ist Dozent an derselben Einrichtung (o. g. Lehrstuhl). Dipl.-Ing. *K. Sperling* ist Entwicklungs-Applikationsingenieur an derselben Einrichtung (o. g. Lehrstuhl).

Durch eine elektronische Verknüpfung von Signalen mehrerer räumlich verteilter Sensoren an der FOAM soll in einem intelligenten Meßsystem die notwendige Schwellwerteinstellung automatisch so gesteuert werden, daß entsprechend der aktuellen „Arbeitssituation" der FOAM zum FLS eine differenzierte Auslösung der Warnsignale erfolgen kann.

1.2. Untersuchung feldverzerrender und signalverfälschender Faktoren

Die funktionsgerechte Arbeitsweise eines Warngerätes setzt einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Feldgröße und dem Abstand Sensor–FLS voraus. Der Mindestannäherungsabstand wird dabei in (z. T. voneinander abweichenden) gesetzlichen Vorschriften festgelegt. Im ungestörten Feld ist dieser eindeutige Zusammenhang gegeben.
Neben den feldbestimmenden Ursachen (ladungstragende Leiterseile und leitende Erdoberfläche) gibt es eine gewisse Zahl von Faktoren, die die Ausbildung des elektrischen Feldes in der Umgebung des FLS mehr oder weniger stark mitprägt. Feldverzerrungen können u. a. durch leitfähige Gebilde, wie metallische Abspannmaste, Stahlkonstruktionen, Bebauungen, Bepflanzungen und der Arbeitsmaschine selbst einschließlich der Montageteile verursacht werden.
Regimebedingte Veränderungen der elektrischen Parameter des Energieübertragungssystems (Spannungs- und Frequenzschwankungen, Unsymmetrien des DS-Systems, Wanderwellen ...) und Umwelteinflüsse ziehen signalverfälschende Folgen nach sich.
Feldverzerrende und signalverfälschende Einflußfaktoren haben die unangenehme Eigenschaft, daß die gemessene Signalgröße nicht mehr streng mit dem Abstand Sensor–FLS korreliert, was die funktionsgerechte Arbeitsweise des Warngerätes in negativer Weise beeinflußt.
Eine abschätzende Bewertung obengenannter Einflußfaktoren gehört somit zu dem notwendigen Bearbeitungsumfang von F/E-Arbeiten von SWG. Für ihre Bewertung bieten sich sowohl theoretische Ansätze als auch experimentelle Methoden an [3].

1.3. Vorschriftengefüge und Geräteanforderungen

Bei der Entwicklung von Spannungswarngeräten sind inländische, eventuell auch ausländische Vorschriften, die für das Arbeiten oder den Aufenthalt in der Nachbarschaft von FLS gelten, zu beachten. Darüber hinaus müssen spezielle Anforderungen, die staatliche Überprüfungsstellen, Gerätehersteller und Anwender an die Funktion und an die technische Auslegung von Warngeräten stellen, Berücksichtigung finden. Maßgebend für das Arbeiten in der Umgebung von FLS war für das Gebiet der DDR der Standard TGL 30 490, der den Freileitungsbereich (S1) und den Gefahrenbereich (S2) oberhalb und unterhalb am Leitungsseilsystem sowie seitlich zum Leitungsseilsystem festlegte. Dieser Standard legt die Abstände S1 und S2 in Abhängigkeit von der Spannweite (Abstand zwischen 2 benachbarten Abspannmasten) für Nennspannungen von 1 kV bis 380 kV fest. Für die physikalisch-technische Auslegung eines SWG ist diese Art der Zuordnung der Abstände S1, vor allem aber der Abstand S2, völlig ungeeignet.
In der DIN-Norm VDE 0105/1 werden die Mindestabstände (Einteilung in 4 Schutzbereiche) dagegen in Abhängigkeit von der Höhe der Betriebsspannung des FLS festgelegt, was die Festlegung der Grenzwerte für die Warnsignalgewinnung aus dem elektrischen Feld wesentlich vereinfacht.
Die Auswerteeinheit eines Spannungswarngerätes vergleicht den Istwert (Meßwert) mit einem Sollwert (vorher eingegebener Schwellwert) und löst beim Erreichen des Mindestannäherungsabstandes ein Warn- oder/und Steuersignal aus. Die konkrete Ermittlung der jeweiligen Schwellwerte, entsprechend den 4 Schutzbereichen, hat über eine im einzelnen noch festzulegende Eichvorschrift zu erfolgen.
Die Einstellung der Schwellwerte (z. B. über einen Stufenschalter) entsprechend der Spannungsebene des gefahrbringenden FLS wird zur Zeit noch manuell durch den Kranführer durchgeführt, was zu schwerwiegenden Folgen nach einer Fehlhandlung führen kann. Deshalb wird eine automatische Spannungsebenen-Erken-

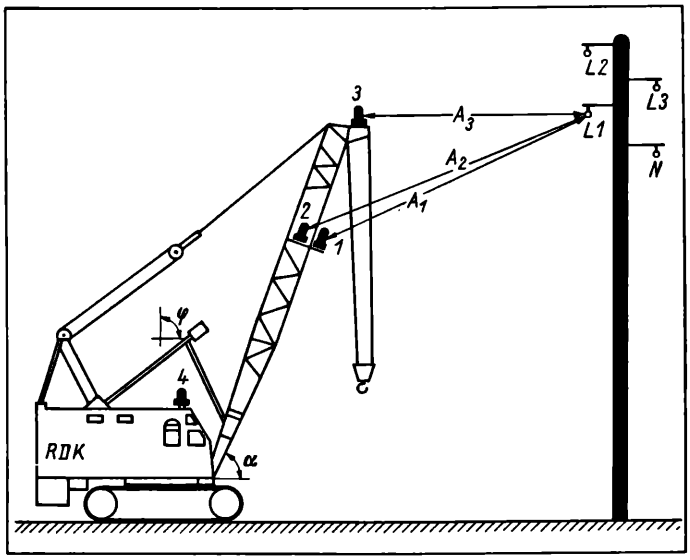


Bild 1. Versuchsanordnung Kran (mit 4 Sonden) im Freileitungsbereich

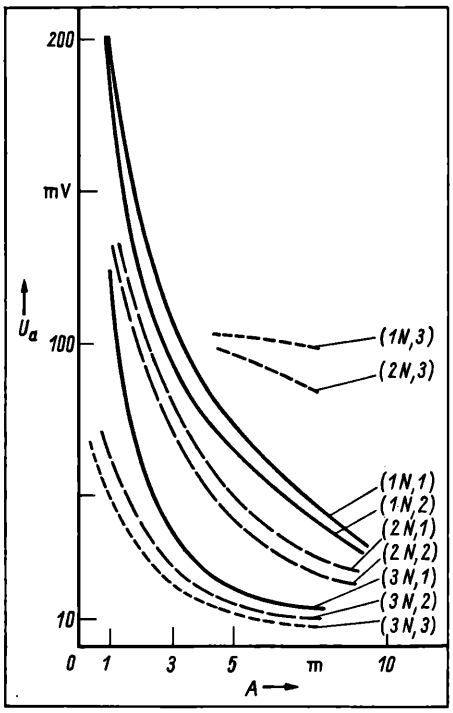


Bild 2. Sondenausgangsspannung U_a als Funktion des Direktabstandes A (1. Ziffer: Phasenzahl; N: Neutralleiter; 2. Ziffer: Sondennummer, s. Bild 1)

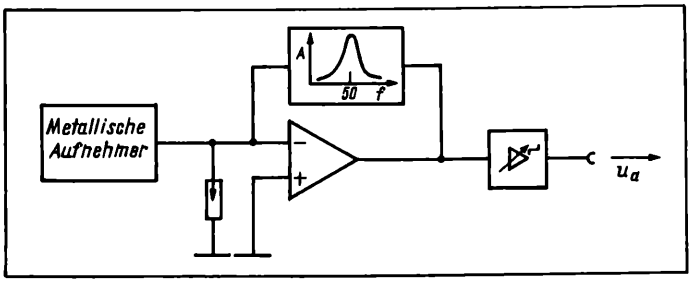


Bild 3. Kapazitiver Aufnehmer

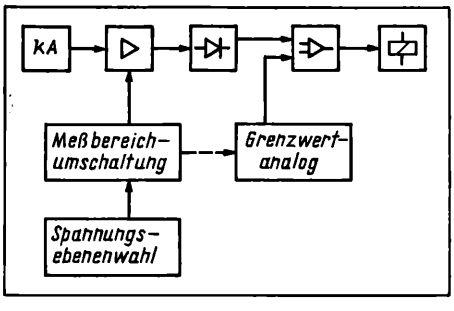


Bild 4. Grundversion eines Spannungswarngerätes

nung angestrebt, wobei die Steuerung der Schwellwerte entweder stufenweise oder kontinuierlich (über eine Approximierungsfunktion) realisiert werden könnte.

Die hardwareseitige Lösung des Warngerätes muß einerseits allgemeinen Anforderungen, wie mechanische Festigkeit, klimatische Beständigkeit, Schutzgrad, autarker Betrieb, Bereitschaftsanzeige, Eigentest, Eich- und Prüfprozeduren, genügen, und sie muß andererseits spezifische Funktionen, wie Sensorabtastung, Frequenzsiebung, Signalverabeitung, Warnsignalerzeugung, Signalauskopplung, erfüllen („Anforderungskatalog Spannungswarngeräte" [3]).

1.4. Schaltungsentwurf und experimentelle Erprobung

Eine zu den skizzierten Themenkomplexen gleichrangige und gleichzeitige Aufgabe ist der funktionsgerechte Entwurf der elektronischen Schaltung des Warngerätes und die Durchführung von Experimenten. Im nachfolgenden Abschnitt wird auf die hardwareseitige Lösung von zwei Versionen eines SWG eingegangen. Experimentelle Untersuchungen sind bei der vorliegenden Problematik insofern unverzichtbar, da der Einfluß verschiedener, im einzelnen nicht quantifizierbarer „Randbedingungen" effektiv nur über Meßreihen ermittelt werden kann. Das funktionsgerechte Arbeiten eines SWG kann ohnehin nur unter praktischen Einsatzbedingungen verifiziert werden.

Messungen und Geräteerprobungen sind unter labormäßigen Verhältnissen, in einer praxisnahen Freiland-Versuchsanlage und unter realen Einsatzbedingungen durchgeführt worden.

2. Geräteentwicklung

2.1. Grundversion

Bekanntlich bildet sich zwischen den ladungstragenden Leiterseilen und der leitfähigen Erdoberfläche ein quasistationäres, elektrisches Feld (sinusförmige Erregung) aus. In der Feldanordnung kann die elektrische Leitfähigkeit der trockenen Luft gegenüber der dielektrischen Leitfähigkeit vernachlässigt werden.

Die in ein solches Feld eingebrachte Meßanordnung (Bilder 1 und 2) ist ein kapazitiver Aufnehmer – das Eingangselement eines Spannungswarngeräts [5]. Befindet sich an einem Meßpunkt des Feldes eine metallische Aufnehmerfläche, so ist der dort eingeprägte Verschiebestrom proportional der elektrischen Feldstärke. Die Aufgabe besteht nun darin, diesen Verschiebestrom möglichst fehlerfrei, d. h. ohne andere meßwertverfälschende Signalanteile zu erfassen. Sie wird dadurch gelöst, daß der Eingangskreis einer stromgesteuerten Spannungsquelle mit einer oder mehreren metallischen Aufnehmerflächen verbunden ist und der Gegenkopplungszweig des Eingangskreises durch ein Netzwerk mit Filtercharakteristik gebildet wird (s. Bild 3).

Die Anordnung einer stromgesteuerten Spannungsquelle garantiert einen niedrigen Eingangswiderstand und schließt damit Anteile der Potentialfeldmessung weitgehend aus. Bekannte Lösungen von Spannungswarngeräten lassen, auf Grund ihres hohen Eingangswiderstandes, den Einsatz von Überspannungsschutzeinrichtungen nicht zu bzw. erfordern kostenaufwendige Lösungen. Die hier gewählte Schaltungsanordnung gestattet den Einsatz konventioneller Überspannungsschutzeinrichtungen.

Ausgangsseitig entspricht das Klemmverhalten der stromgesteuerten Spannungsquelle weitestgehend dem einer idealen Spannungsquelle, was die weitere Meßsignalverarbeitung vereinfacht.

Durch eine Realisierung des Gegenkopplungsnetzwerkes mit Filtercharakteristik lassen sich Störsignale im hohen Maße dämpfen, d. h. das Nutzsignal selektiv verstärken. Bei der Realisierung des Gegenkopplungsnetzwerkes ist zu beachten, daß das Verhältnis des Innenwiderstandes des Gegenkopplungsnetzwerkes und die Differenzverstärkung des gewählten Operationsverstärkers die Eingangsimpedanz der Schaltungsanordnung bestimmt. Für ein sicheres Funktionieren der Anordnung wird ein niederohmiger Eingang vorausgesetzt.

Untersucht auf ihre Verwendbarkeit für Spannungswarngeräte wurden kapazitive Aufnehmer unterschiedlicher geometrischer Formen: Kugel-, Zylinder-, Drahtform und großflächigere For-

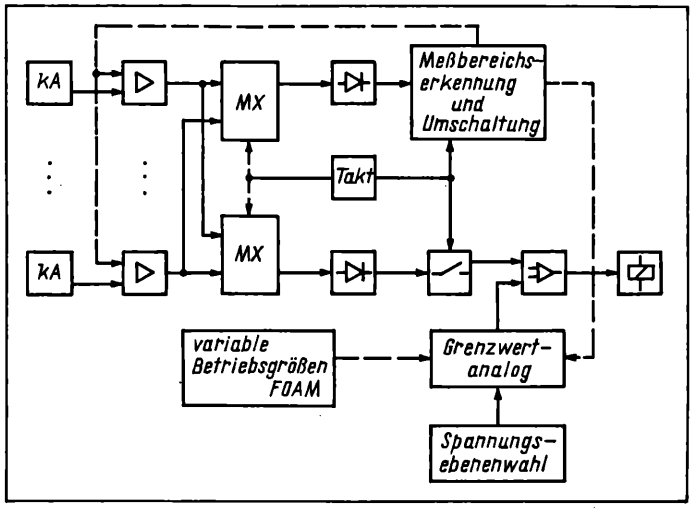


Bild 5. Erweiterte Version eines Spannungswarngerätes mit analoger Signalverarbeitung (max. 8 Sonden)

men. Dabei spielt die Gesamtfläche des Aufnehmers und der Winkel zwischen dem Feldvektor und der Oberflächennormalen (Richtungscharakteristik) auf die gemessene Signalgröße eine entscheidende Rolle. Mit der Wahl der Sondenform hat der Entwickler und Anwender von SWG die Möglichkeit, in gewissen Grenzen die Schutzfunktion des Warngerätes an die äußere Gestalt der FOAM anzupassen, da von ihren metallischen Teilen eine feldverzerrende Wirkung bzw. ein Abschirmeffekt verursacht wird.

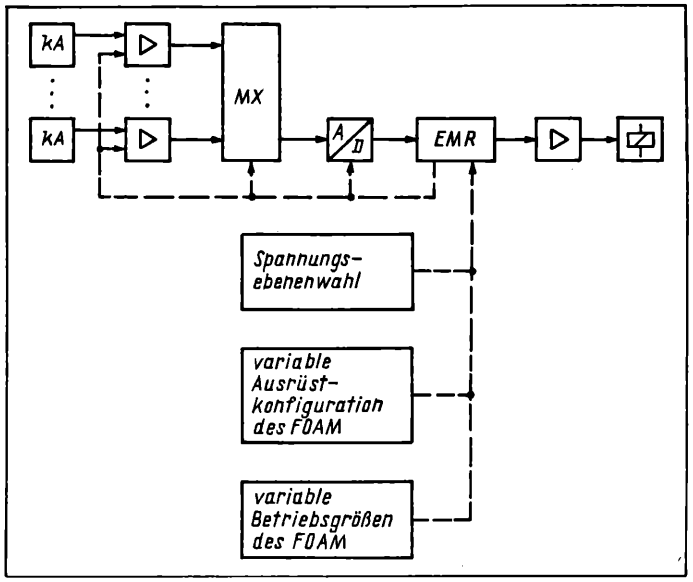
2.2. Auswertung des Meßsignals

Zur Messung von realen Feldstärkeverläufen im Bereich von Freileitungen der Elektroenergieübertragung war es notwendig, Meßtechnik für den mobilen Einsatz zu entwickeln. Bei der Schaltungsentwicklung wurde ein modularer Aufbau angestrebt, um spätere Baugruppen für das eigentliche Spannungswarngerät nutzen zu können. Dementsprechend spielte der „Anforderungskatalog SWG" bei der Auswahl geeigneter elektronischer Baugruppen eine entscheidende Rolle. Das Meßgerät stellt eine Erweiterung der Grundversion (s. Bild 4) um einen A/D-Wandler mit digitaler Anzeige dar. Die Grundversion beinhaltet folgende Baugruppen: Meßsignalaufnahme mit einem kapazitiven Aufnehmer, Meßsignalauswertung, Stromversorgung und Überwachung der Funktionsfähigkeit des SWG.

Bekannte Spannungswarngeräte haben den entscheidenden Nachteil, daß sie Freileitungssysteme im günstigsten Fall ab 1 kV sicher erfassen können.

Mit der vorgestellten Schaltungsanordnung des Aufnehmers und der nachfolgenden Verstärkung des Meßsignals von $1{,}5 \cdot 10^6$ konnte

Bild 6. Version eines Spannungswarngerätes mit digitaler Signalverarbeitung



der Nachweis erbracht werden, daß eine 380-V-Freileitung in einer Entfernung von etwa 5 Metern noch sicher erkannt wird. Für höhere Spannungsebenen des Freileitungssystems ist eine Verringerung der Verstärkung notwendig, die in der Grundversion manuell vom Bediener eingestellt werden muß. Dabei ist die Bedienrichtung von der Maximal- zur Minimalverstärkung schaltungstechnisch fest vorgegeben.

Aus dem verstärkten Meßsignal wird mittels eines AC/DC-Converters der arithmetische Mittelwert des sinusförmigen Meßsignals gebildet. Die gewählte Zeitkonstante von 300 ms (f_{grenz} = 0,5 Hz) ist dabei der entscheidende Term zur Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit des Spannungswarngerätes, d. h. bei der Festlegung des Schwellwertes zur Warnsignalauslösung, ist je nach maximaler Annäherungsgeschwindigkeit des FOAM-Types, die Verzögerungszeit des Spannungswarngerätes mit in Betracht zu ziehen.

Haupttestmittel für die Grundversion war ein Raupendrehkran RDK 300. Dazu wurden 4 zylinderförmige Aufnehmer – ihre Unterbringung erfolgte in kommerziellen Dämmerungsschaltergehäusen – an markanten Stellen desselben (s. Bild 1) installiert; die Auswerteeinheit der Grundversion befand sich in der Fahrerkabine.

Als FLS diente ein 380-V-Drehstromsystem, dessen Leiterseile (Phasen) einzeln zuschaltbar waren.

Mit dem RDK wurden typische Arbeitsbewegungen wie Vorwärtsfahrt, Schwenken, Wippen und Lasthakenbewegungen durchgeführt und dabei die Signalhöhe (U_a) in den einzelnen Sonden in Abhängigkeit von dem Abstand (A) aufgenommen. Bild 2 vermittelt einen näheren Einblick in die erhaltenen Meßergebnisse [3].

Resümierend kann konstatiert werden, daß die Grundversion eine völlig ausreichende Empfindlichkeit (d. h. sichere Detektion eines Niederspannungs-FLS bei Abständen im Meterbereich) und eine gute Reproduzierbarkeit der Meßwerte besitzt.

Die Kurvenschar im Bild 2 weist aber auch auf die zu erwartenden Schwierigkeiten hin, die bei der Signalauswertung der einzelnen Sonden durch das SWG bei den jeweils vorliegenden Randbedingungen auftreten. Die Grundversion mit einem kapazitiven Aufnehmer ist vorzugsweise für FOAM-Typen geeignet, die eine konstante Arbeitsmittelgeometrie wie z. B. mobile Bohrgeräte aufweisen, bzw. Typen, deren bewegliche Teile nicht wesentlich das Freileitungssystem überschreiten können.

2.3. Erweiterte Version

Der Schutz größerer FOAM-Typen, insbesondere von Kränen, ist in der Regel mit nur einem kapazitiven Aufnehmer (Grundversion) nicht realisierbar. So läßt der begrenzte Detektionsradius eines kapazitiven Aufnehmers keinen umfassenden Schutz von z. B. großen Auslegern zu. Des weiteren haben variable Betriebsgrößen des Kranes wie z. B. Neigungs- und Schwenkwinkel einen entscheidenden Einfluß auf die Grenzwertermittlung, da durch variable äußere Geometrie des Kranes der einzustellende Grenzwert, bei Einhaltung des geforderten Abstandes des Kranes zum spannungsführenden Leiterseil ebenfalls variiert.

Diese Gründe führten zu einer Weiterentwicklung der Grundversion mit analoger Signalverarbeitung (s. Bild 5) [4]. Dazu wurden speziell für den RDK zahlreiche experimentelle Untersuchungen durchgeführt [3]. Die erweiterte Version ist ausgelegt für den Einsatz von maximal 8 kapazitiven Aufnehmern, die an geeigneten Punkten des Auslegers entsprechend des FOAM-Types anzuordnen sind.

Die einzelnen Meßstellen werden mit einer Abtastrate von 300 ms seriell abgetastet. Im Gegensatz zur Grundversion, in der eine Empfindlichkeitsstufe (Verstärkung des kapazitiven Aufnehmers) einem Spannungsbereich zugeordnet werden kann, ist bei einem großen geometrischen Abstand der eingesetzten kapazitiven Aufnehmer ein Signalgrößenunterschied über Dekaden innerhalb einer gewählten Empfindlichkeitsstufe möglich. Das führte zur Integration einer automatischen Meßbereichserkennung und -umschaltung, die den jeweils abgetasteten kapazitiven Aufnehmer in den optimalen Verstärkungsbereich schaltet. In Analogie zur Grundversion erfolgt die Warnsignalauslösung beim Erreichen eines entsprechenden Grenzwertes des Meßsignals. Die Grenzwert-

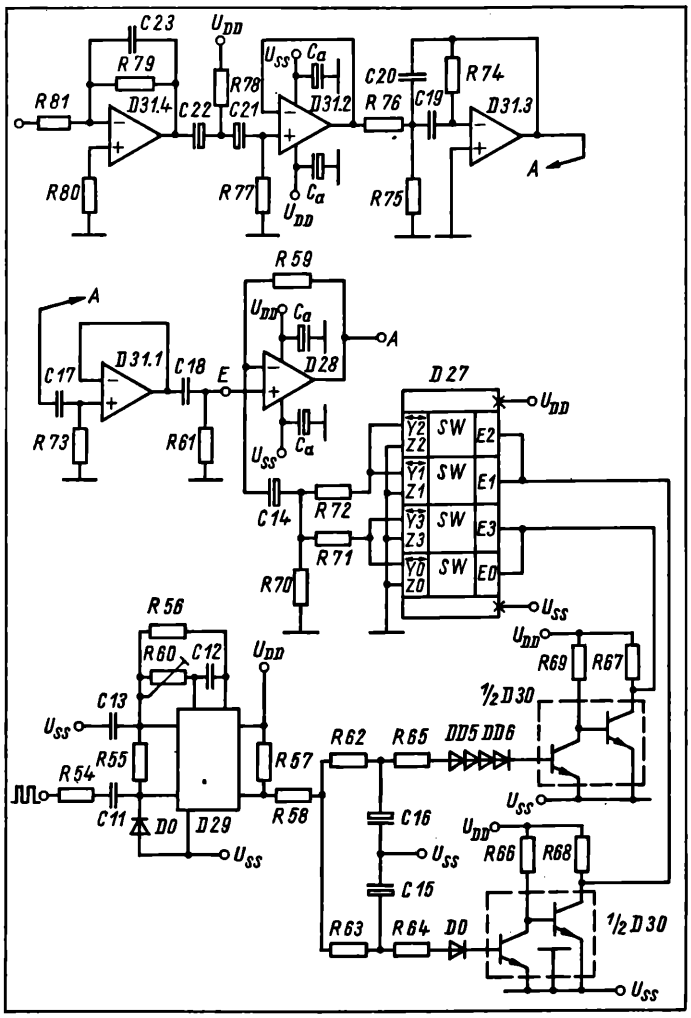


Bild 7. Sensorelektronik

bestimmung ist aber nun nicht mehr nur abhängig von der gewählten Spannungsebene, sondern auch von variablen Betriebsgrößen des FOAM wie dem Neigungswinkel und dem geschalteten Meßbereich des abgetasteten Sensors. Die Einbeziehung des Schwenk- und Neigungswinkels des Kranes setzt natürlich entsprechende Meßeinrichtungen voraus.

2.4. Sensorelektronik

Im Bild 7 ist die schaltungstechnische Lösung der Sensorelektronik des kapazitiven Aufnehmers dargestellt.

Der Operationsverstärker (D 31.4) realisiert die genannte stromgesteuerte Spannungsquelle im Eingangskreis. Der eingeprägte kapazitive Ladestrom an der Metallsonde stellt in Verbindung mit dem Umkehrverstärker einen Differentiator dar. Eine praktische Realisierung ohne R_{81} und C_{23} bereitet gewisse Schwierigkeiten, da eine große Schwingneigung besteht. Die Ursache liegt darin begründet, daß das Gegenkopplungsnetzwerk eine Phasennacheilung von 90° verursacht. Sie addiert sich zur Phasennacheilung des Operationsverstärkers, die im günstigsten Fall selbst schon 90° beträgt, die Schaltung ist also instabil. Durch die Einfügung von R_{81} wird die Phasenverschiebung des Gegenkopplungsnetzwerkes bei hohen Frequenzen reduziert und die Möglichkeit geschaffen, parallel arbeitende Systeme an der gemeinsamen Metallsonde zu verbinden (s. Zweikanaltechnik – Grundversion). Die geforderte niederohmige Auslegung des Eingangswiderstandes des kapazitiven Aufnehmers sowie die benötigte hohe Verstärkung im interessierenden Frequenzbereich zwingt zur Einführung der Kapazität C_{23}, die dem Gegenkopplungsnetzwerk Tiefpaßverhalten 1. Ordnung verleiht.

Zur weiteren Selektion des Meßsignals wurde der Bandpaß (D 31.3) angeordnet, wobei das Prinzip der Mehrfachgegenkopplung angewendet wurde. Die Schaltung besitzt den Vorteil, daß sie auch bei nicht exakter Dimensionierung (Fertigungstoleranzen) nicht zu selbständigen Schwingungen auf der Resonanzfrequenz neigt.

Der nachfolgende nichtinvertierende Operationsverstärker realisiert die gesteuerte Verstärkerstufe für die erweiterte Version. Der Verstärker wird durch ein frequenzvariables Rechtecksignal von der Meßbereichsumschaltung der Auswerteeinheit gesteuert. Dabei wird das Steuersignal über einen Frequenz-Spannungswandler (D 29) in eine der Frequenz proportionale Gleichspannung gewandelt. Die pegelgesteuerten Transistorschalter steuern bilaterale Schalter (D 27) im Widerstandsnetzwerk des Rückkopplungszweiges am Operationsverstärker. Die Frequenzen des Steuersignals betragen 5 und 2,5 kHz. Damit besitzt das Steuersignal einen ausreichenden Frequenzabstand zum Meßsignal (50 bzw. 16 2/3 Hz). Maximale Verstärkung wird ausgelöst, wenn kein Steuersignal anliegt. Damit wird gewährleistet, daß sich die Anordnung beim Ausfall des Steuersignals stets in der höchsten Empfindlichkeitsstufe befindet.

2.5. Auswerteeinheit

Die Auswerteeinheit (Bild 8) beinhaltet folgende Baugruppen [4]:

– Anpassungsstufe (AP)

Durch die Verbindung der kapazitiven Aufnehmer mit der Auswerteeinheit über Leitungen bis 20 m Länge kommt es zur Beeinflussung des Meßsignals durch kapazitive Einstreuungen, Rauschspannungen ... Zur Verminderung dieser Störbeeinflussung sind Elektrometerverstärker in Verbindung mit passiven Tiefpässen geschaltet.

– Multiplexer-/Demultiplexerstufe (MUX)

Die Stufe beinhaltet die Schnittstelle der Auswerteeinheit zu den kapazitiven Aufnehmern. Über einen 4-Bit-Vorwärtszähler wird mit dem Systemtakt der jeweilige kapazitive Aufnehmer an die Auswerteeinheit zur Auswertung des Meßsignals zugeschaltet. Über den Demultiplexer wird das aus der Meßbereichsumschaltung gewonnene Rechtecksignal dem jeweils aktuellen kapazitiven Aufnehmer zur Umschaltung seiner Verstärkung zugeführt.

– Meßbereichserkennung und -umschaltung (MbEU)

Das vom kapazitiven Aufnehmer gewonnene sinusförmige Meßsignal wird in ein proportionales Gleichsignal gewandelt und in einem 3stufigen Trigger mit Hysterese ausgewertet. Entsprechend der Auswertung wird das Steuersignal über einen VCO gebildet und dem kapazitiven Aufnehmer zugeführt. Damit wird gewährleistet, daß im kapazitiven Aufnehmer die für die Auswertung optimale Verstärkung eingestellt ist.

– Auslösestufe (ALS)

Nach Ablauf der MbEU wird das sinusförmige Meßsignal der ALS zugeschaltet. In einem Extremwertspeicher wird das Meßsignal während der H-Phase des Systemtaktes (s. Bild 9) ausgewertet. Das Meßprinzip der ALS beruht auf der Scheitelwertmessung des sinusförmigen Meßsignals mit anschließendem Vergleich mit einem Grenzwert.

– Grenzwertvorgabe (GWVG)

In Abhängigkeit von der eingestellten Spannungsebene mit dem entsprechend zulässigen Annäherungsabstand zum FLS und dem sich daraus ermittelten Extremwert in der ALS wird der entsprechende Grenzwert vorgewählt. Außerdem ist die Grenzwertermittlung mit dem Ergebnis der Meßbereichsumschaltung in multiplikativer Form gekoppelt. Eine weitere Korrektur des Grenzwertes kann entsprechend der Lage des Kranauslegers, bezogen auf den Anbringungsort des kapazitiven Aufnehmers am Ausleger erfolgen.

– Anzeigestufe (AS)

Durch die Anzeigestufe wird gewährleistet, daß im gesamten Meßzyklus erkannt werden kann, welcher Sensor zum jeweiligen Zeitpunkt abgetastet wird und welcher Sensor in einem Meßzyklus das größte Signal aufgenommen hat.

– Netzteil und Taktgenerator (NT)

In dieser Baugruppe werden die Versorgungsspannungen +7,5 V und −7,5 V bereitgestellt sowie der Systemtakt erzeugt.

Um einen definierten Anfangszustand beim Zuschalten des Spannungswarngerätes zu erhalten, wird in der MUX-Stufe und

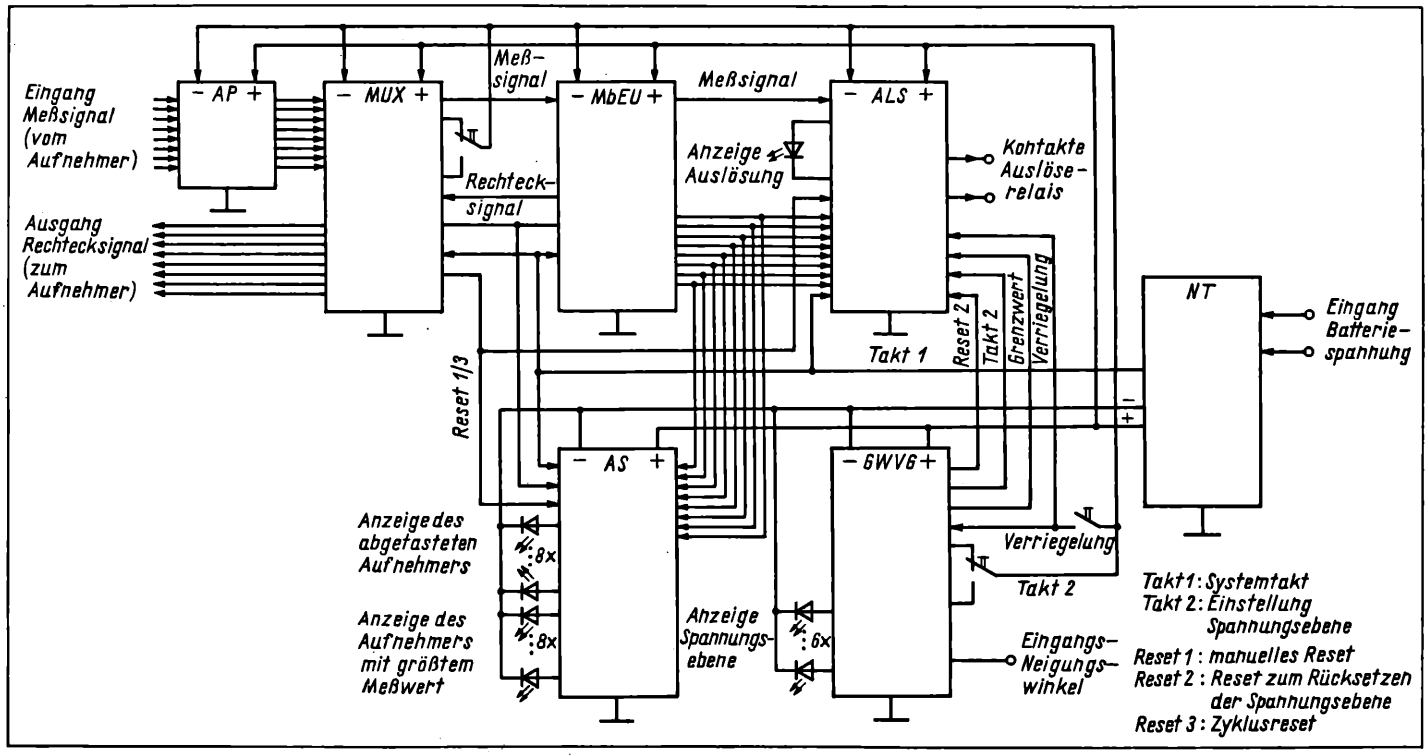


Bild 8. Auswerteeinheit

GWVG-Stufe ein Resetsignal geschaltet. Das hat folgenden Anfangszustand zur Folge:

- Erster kapazitiver Aufnehmer mit höchster Empfindlichkeit ist zugeschaltet
- Kleinster vorgegebener Grenzwert ist gewählt
- Kleinste Spannungsebene ist eingeschaltet.

Zur Verhinderung eines unbeabsichtigten bzw. unbefugten Umschaltens der gewählten Spannungsebene wurde der Anschluß eines Schlüsseltasters vorgesehen.

3. Ausblick

Am Markt ist eine Nachfrage nach Spannungswarngeräten unvermindert vorhanden. Das von uns entwickelte Spannungswarngerät weist deutliche Vorteile gegenüber probeweise in die ehemalige DDR eingeführter Geräte auf (ČSFR, UR).

Der weiteren notwendigen Innovation des Produkts folgend, ist die Version eines Spannungswarngerätes mit digitaler Signalverarbeitung in Vorbereitung (s. Bild 6). Der Einsatz eines Einchipmikrorechners gestattet vor allem die Nutzung variabler Algorithmen zur Meßsignalauswertung. Das vereinfacht einerseits die Anpassung des Spannungswarngerätes an den jeweiligen FOAM-Typ, da nach unserer Einschätzung mittelfristig kein universell einsetzbares Gerät zur Verfügung stehen wird, andererseits kann der Hardwareaufwand durch Softwarelösungen minimiert werden. Die im Artikel angerissenen Themenkomplexe (wie automatische Spannungsebenenerkennung) werden im Sinne einer Funktionserweiterung und Optimierung eines Warngerätes weiterbearbeitet. Jedoch wird an die Überführung des Warngerätes in ein Sicherheitsgerät zunächst nicht gedacht, da der zur Zeit zu erwartende Aufwand für den Anwender nicht gerechtfertigt sein wird.

Literatur

[1] *Winkler, H.; Junghans, H.*: Berechnung des Feldstärkeverlaufs von Mehrphasen-FLS m. AC. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 12, S. 468–470

[2] *Junghans, H.; Winkler, H.; Szuba, M.*: Theoretische Analyse des elektrischen Feldes beliebiger FLS-Modellbildung. ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 352–359

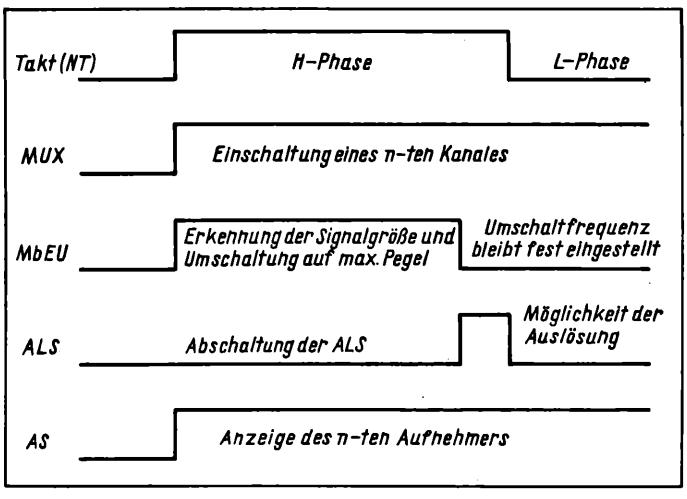
[3] *Winkler, H.; Kröber, T.*: Kollisionsschutz für RDK. WtB A1–A4, 1988/89, THL/TAKRAF (unveröffentlicht)

[4] *Sperling, K.*: Entwurf, Realisierung und Erprobung einer weiterentwickelten Auswerteeinheit für Spannungswarngeräte. Diplomarbeit THL 1990

[5] *Kröber, T.*: Anwenderdokumentation CA 1/88. THL (unveröffentlicht)

EA 6187

Bild 9. Taktplan der Auswerteeinheit



Der ZVEI informierte

Anläßlich einer Pressekonferenz in Dresden am 22. 10. 1990 informierte der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI):

- Anhaltend günstige Konjunkturaussichten für die Elektroindustrie
- Zunehmendes Engagement der westdeutschen Elektroindustrie in den neuen Bundesländern
- Eröffnung der ZVEI-Außenstelle Dresden

Vordergründig besteht die Arbeit der Außenstelle in der Integration der neuen Unternehmen in die Marktwirtschaft. Es werden von Dresden aus die Unternehmen in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt betreut.

ZVEI-Außenstelle Dresden
Königsbrücker Straße 159 (ZMD Haus 337)
O-8080 Dresden, Tel. (00 51) 58 82 26
Die Redaktion

EK 4356

Untersuchungen zur Erkennbarkeit von Freileitungssystemen mittels Infrarot-Meßtechnik

Th. Kosel, L. Unbekannt, H. Winkler; Leipzig

Seit mehreren Jahren besteht im internationalen Maßstab Bedarf an Geräten, die zuverlässig und betriebssicher die Anwesenheit von spannungsführenden Leitern, insbesondere Freileitungen, registrieren. Durch sie sollen Gefährdungen von Mensch und Technik, welche von Energieübertragungssystemen ausgehen, weitgehend ausgeschlossen werden.
Um das Einfahren zu schützender Anlagenteile in den nach dem Standard TGL 30490 festgelegten Gefahrenbereich verhindern zu können, ist die Erfassung folgender Informationen erforderlich:
1. Entfernung zwischen dem Meßsensor und der Freileitung
2. Spannungshöhe des Energieübertragungssystems.

Mit herkömmlichen Methoden (elektrische Feldgrößen) ist es bisher nicht möglich, diese Daten gleichzeitig zu erhalten. Deshalb erstreckt sich die Forschung auch auf die Untersuchung anderer Verfahren und Prinzipien, welche zur Lösung dieses Problems beitragen könnten. In diesem Sinne werden hier Ergebnisse von Untersuchungen vorgestellt, welche die prinzipielle Erkennbarkeit von Freileitungen mittels Infrarot-Meßtechnik sowie die dabei auftretenden Probleme zeigen [1].

1. Wärmestrahlung einer Freileitung

Aufgrund ihrer Verwandtschaft zu anderen elektromagnetischen Wellenerscheinungen gelten für die Infrarotstrahlung allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Strahlung und Ausbreitung [2].
An erster Stelle ist das photometrische Grundgesetz zu nennen:

$$d^2\varnothing = L \cdot dA_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot dA_2 \cdot \cos\varphi_2 / r^2 \quad (1)$$

$\varnothing$ Strahlungsfluß
dA Flächenelement
φ_1 Abstrahlwinkel
φ_2 Auftreffwinkel
L Strahlungsdichte der Senderfläche
r Entfernung

Demnach ist der Strahlungsfluß $d^2\varnothing$ zwischen zwei Flächenelementen dA_1 und dA_2 proportional der Projektion der Sender- und Empfängerfläche auf die zur Strahlungsrichtung senkrechte Ebene sowie umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung r.
Das Plancksche Gesetz als Strahlungsgrundgesetz gibt den Zusammenhang zwischen der spezifischen Ausstrahlung $M_{(SK)}$ eines schwarzen Strahlers bei einer bestimmten Wellenlänge λ in Abhängigkeit von dessen Temperatur T an:

$$M_{(SK)}(\lambda, T) = c_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot (\exp(c_2/\lambda/T) - 1)^{-1} \quad (2)$$

mit $c_1 = 37410\ \mathrm{W/\mu m/cm}$ und $c_2 = 14380\ \mu\mathrm{m} \cdot \mathrm{K}$, wobei sich c_1 und c_2 aus mehreren physikalischen Konstanten zusammensetzen.
Eine graphische Darstellung des Planckschen Gesetzes in einem Temperaturbereich, welcher für ein Freileitungsseil unter Einsatzbedingungen realistisch wäre, ist im Bild 1 zu sehen.
Integriert man die Plancksche Beziehung über alle Wellenlängen, so erhält man die gesamte Ausstrahlung eines Schwarzen Körpers (Stefan-Boltzmannsches Gesetz):

$$M_{(SK)}(T) = 5{,}6686 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{W/cm^4/K^4} \cdot T^4 \quad (3)$$

Im allgemeinen nutzt man diese Beziehung für die Temperaturfernmessung mit Strahlungspyrometern aus. Über den Emissionsgrad α wird der Bezug zum realen Körper hergestellt:

$$M(T) = M_{(SK)}(T) \cdot \alpha \text{ mit } \alpha <= 1. \quad (4)$$

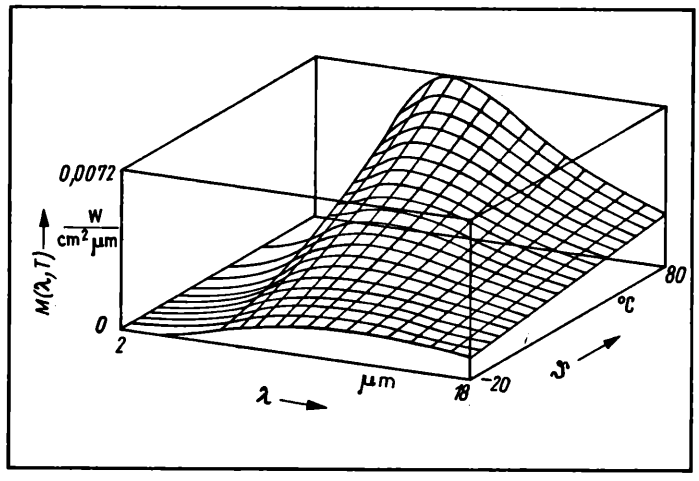
Aus diesen Gesetzmäßigkeiten folgt die Abhängigkeit des von einem Leiterseil ausgehenden Strahlungsflusses am Meßort von einer Vielzahl von Faktoren (Tafel 1).
Es ist daraus ersichtlich, daß eine eindeutige analytische Zuordnung eines Strahlungsflusses zur Entfernung nicht möglich sein dürfte, womit nur ein indirektes Verfahren der Bestimmung der Lagekoordinaten einer Freileitung in Frage kommt.
Bei der Strahlungsmessung empfängt das Meßgerät nicht nur die Eigenstrahlung des Meßobjektes, sondern auch am Meßobjekt reflektierte Umgebungsstrahlung. Dazu kommt noch die des Hintergrundes, falls der Pyrometermeßfleck nicht voll durch das Meßobjekt ausgefüllt ist. Daraus ergeben sich folgende Probleme:
1. Der Emissionsgrad ist für jeden Körper unterschiedlich und nur näherungsweise angebbar.
2. Da sich die Temperatur einer Freileitung nicht sehr stark von der Umgebungstemperatur unterscheidet, wird sich die reflektierte Umgebungsstrahlung sehr störend auf die exakte Erfassung von deren Strahlung auswirken.
3. Eine stark inhomogene Temperaturverteilung der Umgebung bewirkt Störungen (spiegelnde Reflexionen).
4. Da aufgrund der kleinen Abmessungen eines Leiterseils keine vollständige Übereinstimmung zwischen Meßobjekt und Meßfläche erzielbar ist, wird man grundsätzlich nur die Summe der Strahlungen des Leiterseils und des Hintergrundes messen können.

Sind nun die Strahlungsdichten („Helligkeiten") von Hintergrund und Leiterseil annähernd gleich groß, ist aufgrund des geringen Kontrastes zu erwarten, daß ein Nachweis der Leiterseilstrahlung unmöglich wird.

2. Meßtechnischer Nachweis der Wärmestrahlung einer Freileitung

Ziel der durchgeführten Versuche war die Untersuchung der Bedingungen für die Nachweisbarkeit der von Freileitungen ausgehenden Wärmestrahlung.

Bild 1. Graphische Darstellung des Planckschen Gesetzes



Dipl.-Ing. *Thomas Kosel*, Konstrukteur bei Siemens in Erlangen, war zur Zeit der Bearbeitung Student an der Technischen Universität Chemnitz, Sektion Informationstechnik und Ing.-Praktikant an der TH Leipzig (Prof. *S. Altmann*); Dipl.-Ing. *Lutz Unbekannt*, Wiss. Assistent am Lehrstuhl „Grundlagen der Elektrotechnik" (Lehrstuhlinhaber Prof. Dr. sc. techn. *S. Altmann*), Technische Hochschule Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen; A. o. Doz. Dr. rer. nat. *Herbert Winkler*, Wiss. Oberassistent am Lehrstuhl „Grundlagen der Elektrotechnik", Technische Hochschule Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen

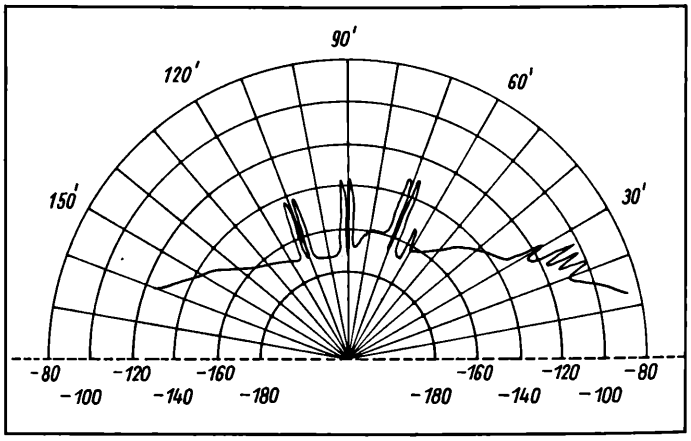


Bild 2. Meßwertdiagramm bei wolkenlosem Himmel

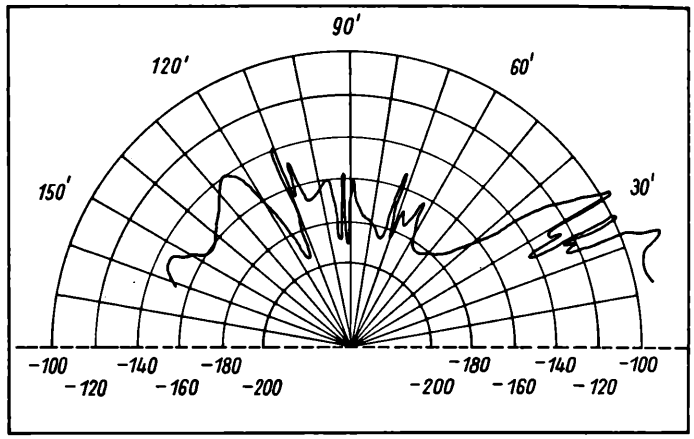


Bild 3. Meßwertdiagramm bei teilweise bewölktem Himmel

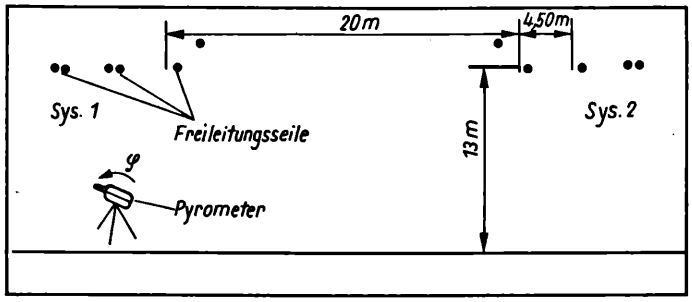
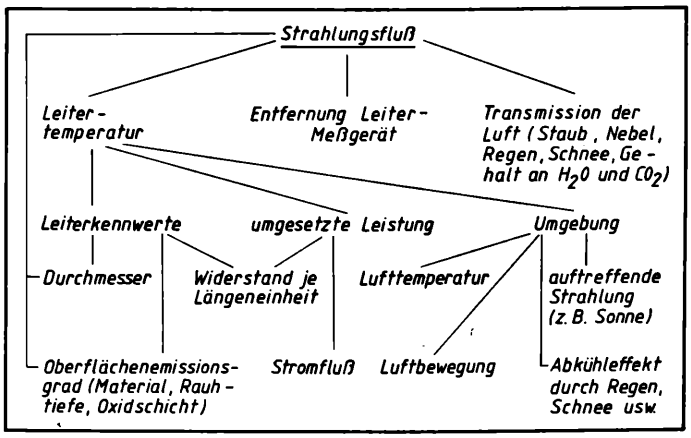


Bild 4. Meßanordnung

Tafel 1. Faktoren für den Strahlungsfluß



Für die Experimente erwies sich eine 220 kV-Freileitungsanordnung mit zwei Dreiphasensystemen als günstig. Das Pyrometer wurde direkt unter dem mittleren Leiter eines Systems aufgestellt (Bild 4). Zur Messung wurde die optische Achse des Pyrometers im Halbkreis geschwenkt und die Anzeigewerte in Polarkoordinaten abhängig vom Winkel der optischen Achse zur Waagerechten dargestellt.

Bild 2 zeigt das Meßwertdiagramm dieser Freileitung vor wolkenlosem Himmel, also unter fast idealen Hintergrundbedingungen. Die Leiterseile des Systems 1 waren mit etwa 55 % des zulässigen Stromes belastet und dementsprechend gegenüber der Luft leicht erwärmt.

Jedes einzelne Leiterseil war erfaßbar und ist als „Zacke" im Diagramm zu erkennen. Auch die geringer belasteten Phasen des Systems 2 und sogar das Erdseil hoben sich deutlich ab.

Die Meßserien, welche bei bedecktem Himmel aufgenommen wurden, zeigten die Folgen des verminderten Kontrastes. Neben einer durchgängig erhöhten Hintergrundstrahlung erschienen die „Zacken" der Leiterseile wesentlich kürzer.

Erst bei halb bewölktem Himmel wurde der ganze Umfang dieses Problems deutlich (Bild 3). Die scharfen Ränder der Wolken bewirkten im Kurvenverlauf große Anstiege und können damit das Vorhandensein nicht existierender Leiterseile vortäuschen.

Insgesamt ist der Informationsgehalt einer Messung mit Pyrometer zur Erfassung von Freileitungen zu gering, da aus dem zu überwachenden Sektor nur eine Linie abgetastet wird. Aus diesem Grunde erschien es notwendig, Freileitungen auch mit Hilfe eines Wärmebildgerätes unter besonderer Beachtung des Hintergrundes zu untersuchen.

3. Schlußfolgerungen

Die Messungen mit einem Wärmebildgerät zeigen die prinzipielle Nachweisbarkeit von Freileitungen über ihre Infrarotstrahlung. Eine Realisierungsmöglichkeit ist die Auswertung des Wärmebildes mittels Mikrorechner. Dazu wird das vom Infrarotaufnehmer bereitgestellte Bildsignal digitalisiert und einem Rechner zugeführt, welcher mit einem Bildverarbeitungsprogramm die Lagekoordinaten der Leiterseile berechnet. Deren Belastung ist in diesem Falle nicht von großer Bedeutung, weil lediglich die Stärke des Kontrastes zum Hintergrund für die Erfaßbarkeit ausschlaggebend ist. Dieser hängt aber nicht allein von der Stromstärke ab, sondern in gleichem Maße von der Strahlungsdichte des Hintergrundes, wobei sich eine problematische Situation bei annähernd gleicher Strahlungsdichte von Leiterseil und Hintergrund ergibt.

Für eine Anwendung dieses Verfahrens ist eine Weiterentwicklung der Technik der Infrarot-Bildgeräte erforderlich, weil die bisher existierenden kommerziell angewendeten nicht den sich daraus ergebenden Anforderungen z. B. an Betriebssicherheit, Robustheit und Wartungsarmut gerecht werden.

Literatur

[1] *Kosel, Th.*: Untersuchungen über die Erkennbarkeit bzw. Ortung von Freileitungssystemen mittels Infrarotmeßtechnik. Praktikumsbeleg, Technische Hochschule Leipzig, 1988

[2] *Maier, H.; Abel, K.*: Untersuchungen zur kommerziellen Anwendung der Infrarottechnik. Forschungsbericht T 83-132. Bundesministerium für Forschung und Technologie Bonn, 1983

EA 6188

Der VS-Schutz – ein neues Schutzkonzept für Mittelspannungsschaltanlagen

H. U. Haas, Lünen

1. Vergleich von Teil- und Vollbereichssicherungseinsätzen

1.1 Der minimale Ausschaltstrom von Teilbereichssicherungen

Anwendung und Funktion der Hochspannungs-Teilbereichssicherung werden prinzipiell durch die IEC 282-1 und ihrer deutschen Übersetzung VDE 0670 Teil 4, Entwurf beschrieben. Markante Eigenschaft der Teilbereichssicherung ist es, unzulässige Überströme erst oberhalb eines bestimmten minimalen Ausschaltstromes des Sicherungseinsatzes zuverlässig abzuschalten. Dieser minimale Ausschaltstrom kann das 2- bis 5fache des Sicherungsnennstromes bei Abschaltzeiten zwischen 20 Minuten und 500 Millisekunden betragen [1] [2]. Kommt es zu einer Abschaltung des Sicherungseinsatzes mit einem Strom kleiner dem minimalen Ausschaltstrom können sich Schwierigkeiten mit dieser Sicherung ergeben, wenn nicht ein anderes direkt zugeordnetes Schaltgerät den Stromkreis während der Lichtbogenlöschzeit unterbricht.
Die Werte des minimalen Ausschaltstromes werden durch den Sicherungseinsatz selbst und hier besonders durch sein Schmelzleitersystem vorgegeben. Dabei spielt die Anzahl aller parallelen Schmelzleiter und der Querschnitt des einzelnen Schmelzleiters eine entscheidende Rolle. Begründet durch die Stromdichte bei der Abschaltung führen eine hohe Anzahl von Schmelzleitern oder kleine Schmelzleiterquerschnitte bei gleichem Nennstrom zu niedrigen Werten des minimalen Ausschaltstromes.

1.2 Vollbereichssicherungen – Teilbereichssicherungen ohne potentielle Gefahr im Überlastbereich

Neben allen Merkmalen der Teilbereichssicherung haben Hochspannungs-Vollbereichssicherungseinsätze die zusätzliche Fähigkeit, jeden Strom direkt oberhalb des minimalen Schmelzstromes der Schmelzleiter zuverlässig auszuschalten. Der minimale Schmelzstrom liegt im Ausschaltbereich oberhalb einer Stunde und kann das 1,5- bis 2fache des Sicherungsnennstromes betragen. Vollbereichssicherungen sind also in der Lage, jeden Strom sicher zu unterbrechen, der sie zum Schmelzen bringt. Sie haben keinen Arbeitspunkt, der zu Schäden in der Anlage führen könnte. Wesentlicher Nachteil anderer Entwicklungen von Vollbereichs-Sicherungseinsätzen in der Vergangenheit war, daß diese Sicherungseinsätze oftmals zum Altern neigen, da sie im flinken Überstrombereich arbeiten. Alterung ist hier die Bezeichnung für Kennlinienveränderungen, erhöhte Leistungsabgabe und unkontrollierte Ausschaltungen bei Überlast.
Vollbereichssicherungen werden in unterschiedlichen Funktionsprinzipien angeboten. Wesentliche Vorteile im Hinblick auf eine niedrige Leistungsabgabe und niedrige Gerätetemperaturen über das einwandfreie Funktionieren im Überlastbereich hinaus, bringen Vollbereichssicherungen nach dem Multi-Schmelzleiter-System.

2. Der SIBA-VS-Schutz

Die Ausnutzung der positiven Eigenschaften der Multi-Schmelzleitertechnik bei Vermeidung der bekannten Nachteile dieser und anderer Funktionsprinzipien war das Ziel eines breiten Entwicklungsprogrammes im Haus SIBA. Auf der Basis vieler paralleler Einzelschmelzleiter wurde schließlich ein Schmelzleiter-Werkstoff entwickelt, der in Kombination mit einer speziellen Erwärmungszone die Vollbereichs-Charakteristik ermöglicht, ohne daß es zu Alterungserscheinungen kommt. Bild 1 gibt den Schnitt durch eine derartige Sicherung wieder.

2.1 Konstruktiver Aufbau

2.1.1 Zahl der Schmelzleiter

Außerhalb der Erwärmungszone (*4*) im Bild 1 werden bis zu 15 Einzelschmelzleiter (*3*) auf einen isolierenden Trägerkörper gewickelt und in Quarzsand (*6*) als Löschmittel eingebettet. Das Stanzbild der Schmelzleiter sowie ihr Gesamtquerschnitt unterscheiden sich nur geringfügig von denen einer Teilbereichssicherung gleichen Nennstromes. Eine Vollbereichssicherung mit einem Nennstrom von 40 A ist z. B. mit 10 parallelen Einzelschmelzleitern bestückt. Der minimale Ausschaltstrom, der mit dem minimalen Schmelzstrom identisch ist, beträgt bei einer Ausschaltzeit von einer Stunde rund 75 A. Im Vergleich dazu verfügt ein Hochspannungs-Teilbereichs-Sicherungseinsatz nach DIN 43625 mit Nennstrom 40 A über beispielsweise drei Schmelzleiter. Der minimale Ausschaltstrom liegt beim 3fachen Nennstrom, also 120 A, die Ausschaltzeit beträgt rd. 30 Sekunden.

2.1.2 Erwärmungszone

Die für das Ansprechen einer Sicherung notwendige Schmelzwärme entsteht an speziellen Engstellen, die den Leitungsquerschnitt des Einzelschmelzleiters verringern und die sich aus dem Stanzbild ergeben. Diese Engstellen haben jedoch auch zur Folge, daß im Normalbetrieb Verlustleistungen entstehen, die in Wärme umgesetzt, nach außen abgeleitet werden müssen.

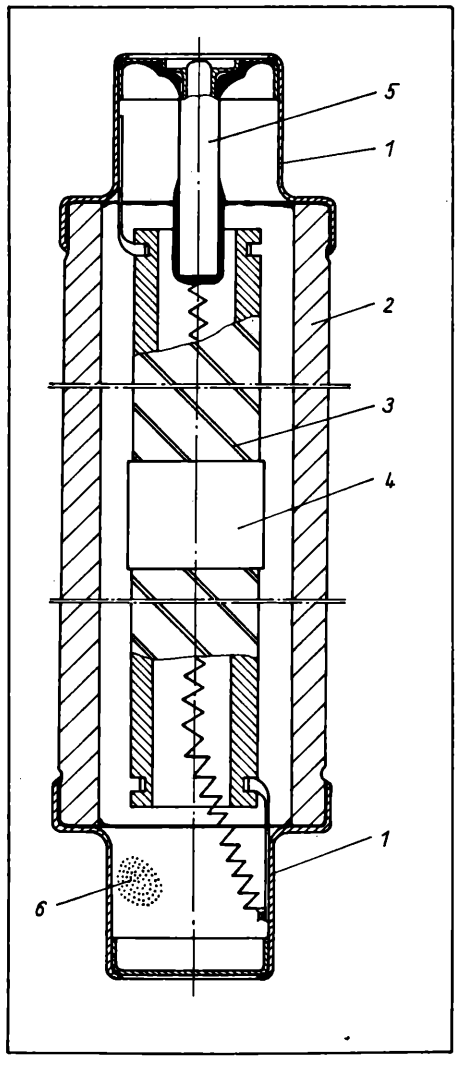


Bild 1. Vollbereichssicherungseinsatz nach dem Multi-Schmelzleiter-System
1 Kontaktkappe
2 Isolierkörper
3 Hauptschmelzleiter
4 Erwärmungszone
5 Auslöser
6 Löschmittel

Dipl.-Ing. Heinz Ulrich Haas ist Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung bei der SIBA Sicherungen-Bau GmbH in Lünen.

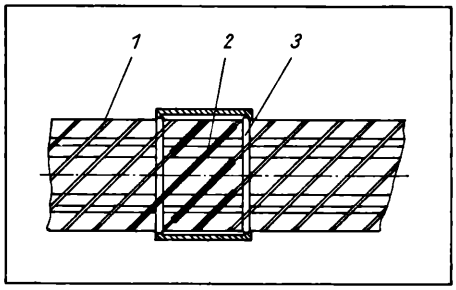


Bild 2. Erwärmungszone
1 Hauptschmelzleiter
2 Schmelzleiterteilstück
3 Wärmeschottung

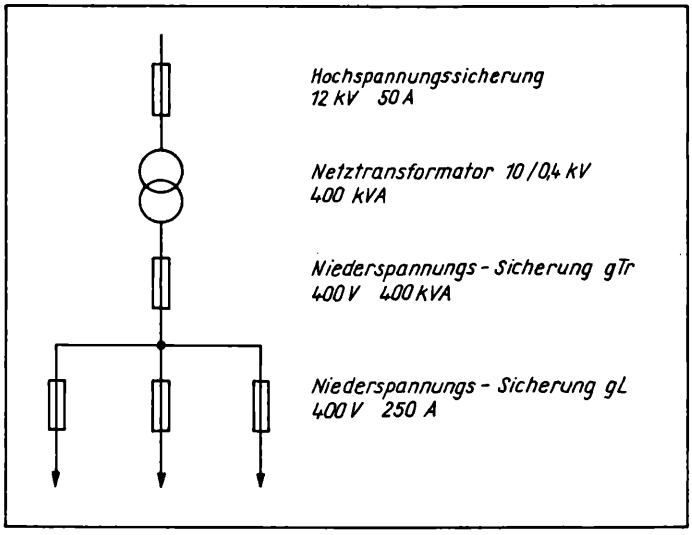


Bild 3. Absicherung des Verteiler-Transformators 400 kVA

Die Aufteilung eines notwendigen Schmelzleiterquerschnittes auf viele parallele Einzelschmelzleiter führt zu einer relativ großen wärmeabgebenden Schmelzleiteroberfläche. Daraus resultiert, unter Berücksichtigung der Schmelztemperatur des Schmelzleiter-Werkstoffes bei vorgegebenem Schmelzstrom, der Nachteil einer relativ hohen Verlustwärme im Bereich oberhalb des Nennstromes. Zur drastischen Reduzierung dieser Verlustwärme wurde der „Überstrom"-Schmelzbereich der Sicherung auf eine Erwärmungszone beschränkt, die in Bild 2 dargestellt ist. Innerhalb der Erwärmungszone, die gegenüber den übrigen Teilen der Sicherung durch die Wärmeschottungen (*3*) abgetrennt ist, bestehen die Schmelzleiter (*2*) als Teilstücke aus einem speziellen Werkstoff. Die Reduzierung der Verlustwärme wird am Beispiel der schon angeführten Sicherung mit 40 A Nennstrom deutlich. In der Ausführung als Teilbereichssicherung entsteht eine Verlustleistung von 50 W bei Nennstrombelastung, als Vollbereichssicherung von nur 29 W. Es tritt somit eine Reduzierung von mehr als 40 % ein.

2.1.3 Schmelzleiter-Werkstoff

Der spezielle Werkstoff, aus dem die Schmelzleiter-Teilstücke innerhalb der Erwärmungszone bestehen, hat 3 Eigenschaften, die ihn gegenüber üblichen Schmelzleiter-Werkstoffen (z. B. Ag) unterscheiden:

- niedriger Schmelzpunkt (rd. 600 °C gegenüber Ag 960 °C)
- starke Wärmeaufnahme durch Zerfall der Metall-Oxid-Komponente im Lichtbogen
- hohe Wiederverfestigungsspannung.

Der niedrige Schmelzpunkt wird durch eine Legierung auf Silber-Basis erreicht, die als Zusatzkomponenten unedle Werkstoffe enthält. Zusätzlich eingelagerte Metalloxide werden beim Auftreten eines Lichtbogens dissoziiert, so daß dem Lichtbogen Wärme entzogen wird. Auf diese Art entsteht ein löschunterstützender Kühleffekt. Die Metalloxide können entweder schon im Schmelzleiter-Werkstoff enthalten sein, oder sie entstehen durch sogenannte „innere Oxidation" der unedlen Legierungskomponenten erst kurz vor Erreichen der Schmelztemperatur.

Einige Metalloxide, wie Zinkoxid, bieten als Werkstoff-Zusatz den Vorteil einer hohen Sofortverfestigungs-Spannung. Das bedeutet, daß die Spannung, die eine Wechselstrom-Lichtbogenstrecke unmittelbar nach dem Nulldurchgang des Stromes aufnehmen kann, ohne daß es zu einer Lichtbogen-Wiederzündung kommt, besonders hoch ist. Lichtbögen, die nach dem Ansprechen des Schmelzleiters bei Überströmen entstehen, verlöschen bei Werkstoffen mit derartigen Zusätzen erheblich rascher als bei Silber-Schmelzleitern. Auf diese Art wird die Gefahr einer möglichen Verlängerung des Lichtbogens verhindert.

2.2 Ausschaltverhalten der Vollbereichssicherung

Das Ausschaltverhalten wird geprägt vom Kurzschluß- und Überstrombereich. Bei Kurzschlußströmen sprechen, wie bei der Teilbereichssicherung, die Silber-Hauptschmelzleiter (*3*) im Bild 1 an, die mit den Schmelzleitern der Erwärmungszone in Reihe liegen. Die Lichtbogenlöschung erfolgt strombegrenzend im umgebenden Löschsand aufgrund intensiver Kühleffekte.

Bei unzulässigen Überströmen werden die Schmelzleiter in der Erwärmungszone wirksam und trennen den Stromweg gemäß der vorgeschriebenen Zeit/Strom-Kennlinie auf. Aufgrund des relativ hohen spezifischen Widerstandes des Schmelzleiter-Werkstoffes und aufgrund der reduzierten Wärmeableitung aus der Erwärmungszone heizen sich die Schmelzleiter hier erheblich rascher auf als die Silber-Schmelzleiter außerhalb der Erwärmungszone.

Schnelle Aufheizung und niedriger Schmelzpunkt führen zum frühen Durchschmelzen. Der entstehende Lichtbogen verlischt in einem der folgenden Strom-Null-Durchgänge. Der Schmelzleiter-Werkstoff unterstützt den Löschvorgang durch das Freigeben von sich zersetzenden Metalloxiden, die kühlend auf den Lichtbogen wirken und der Wiederzündung entgegenwirken.

Die Temperatur an der Außenseite des Isolierrohres (*2*) im Bild 1 steigt dabei auf nur 140 °C an und ist damit etwa so groß wie bei einer Kurzschlußausschaltung.

Alterungseffekte, wie sie bei anderen Vollbereichssicherungen und bei Teilbereichssicherungen zu beobachten sind und die aufgrund des Eindiffundierens von Weichloten entstehen, treten bei der neuen Vollbereichssicherung nicht auf.

3. Anwendung der Vollbereichssicherung

3.1 Absicherung von Netztransformatoren in der Normung

Konstruktiv und elektrisch werden konventionelle Hochspannungs-Sicherungseinsätze nach IEC 282-1 gefertigt. Die Bestimmung enthält neben der allgemeinen Beschreibung von Begriffen und Nennwerten im wesentlichen die Typprüfung dieser Sicherungseinsätze. Es werden Anwendungshinweise für einen zufriedenstellenden Einsatz gegeben. Als deutsche Übersetzung soll IEC 282-1 die Folgeausgabe der VDE 0670 Teil 4/3.67 bilden.

Darüber hinaus gibt DIN VDE 0670 Teil 402 als VDE-Leitlinie Empfehlungen für die Auswahl von strombegrenzenden Sicherungseinsätzen für Transformatorstromkreise. Als modifizierte IEC 787 ist sie vorgesehen, Kriterien für die Koordination von Hochspannungs-Sicherungseinsätzen mit anderen Komponenten in Transformatorstromkreise festzulegen [4].

Diese sind:

– Die Zeit/Strom-Kennlinie des Hochspannungs-Sicherungseinsatzes soll rechts von den Einschaltrush-Punkten des Transformators liegen. In der Praxis beträgt dies je nach Größe und Auslegung des Eisenkreises des Transformators das 4- bis 12fache seiner Leistung.

– Der Nennstrom des Hochspannungs-Sicherungseinsatzes soll ausreichend größer als der Nennstrom des Transformators sein, um zulässige Überlastungen des Transformators entsprechend den Betriebserfordernissen zu gestatten.

– Um größtmöglichen Schutz bei Überlast infolge von Windungsschlüssen zu bieten, sollte der Schmelzstrom bei 10 s so klein wie möglich sein.

– Hochspannungs- und Niederspannungs-Sicherungseinsätze zum Schutz des Transformators sollen über ihrem gesamten Ausschaltbereich selektiv zueinander arbeiten.

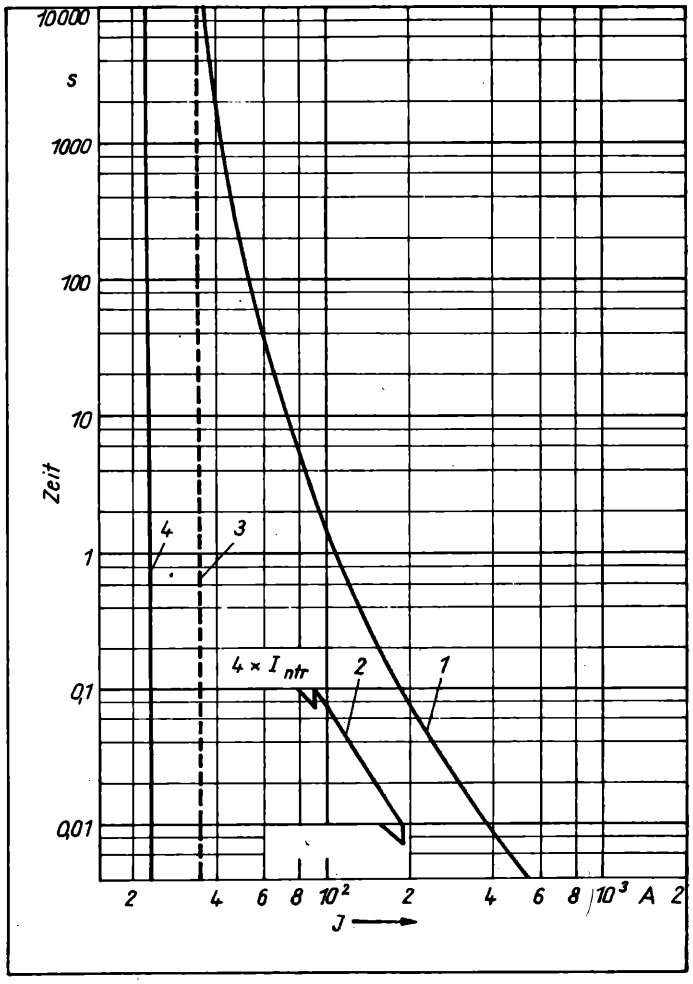


Bild 4. Zeit/Strom-Kennlinie für den Netztransformator 10/0,4 kV 400 kVA (Vollbereichsicherung als Schutz des Transformators vor Überlast)
1 der Hochspannungs-Vollbereichssicherung 12 kV, 20 A
2 Einschaltrushstrom; *3* zulässige Überlast; *4* Nennstrom des Transformators

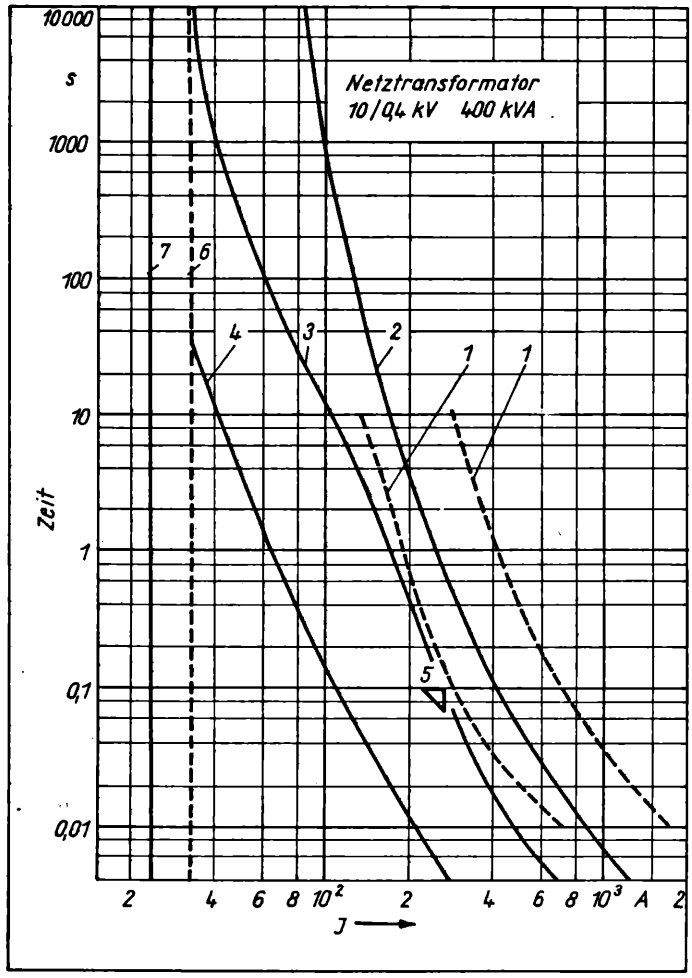


Bild 5. Zeit/Strom-Kennlinie für den Netztransformator 10/0,4 kV 400 kVA (Vollbereichssicherung als Redundanzschutz)
1 der Streuband-Hochspannungs-Sicherungen 50 A (nach DIN VDE 0670 Teil 402)
2 des Vollbereichssicherungseinsatzes 50 A
3 des NH-Sicherungseinsatzes gTr 400 kVA (transferiert über Berechnung I' = I 0,4/10)
4 des NH-Sicherungseinsatzes gL 224 A (transferiert über Berechnung I' = I 0,4/10)
5 Einschaltstrom; *6* zulässige Überlast; *7* Nennstrom des Transformators

3.2 Der Netztransformator im Überstrombereich

Nach den heutigen Absicherungskonzepten können sich unzulässige Überströme auf der Oberspannungsseite oberhalb dem 1,5- bis 2fachen Transformatornennstrom im wesentlichen entweder durch nicht angepaßte Absicherung auf der Niederspannungsseite der Verteilertransformatoren, durch Windungsschlüsse im Transformator oder Erdschlüsse im Bereich der Transformatorendurchführung entwickeln.
Der Schutz des Transformators vor unzulässiger Überlast, die sich aus den angeschlossenen Verbrauchern ergibt, kann durch Verwendung von angepaßten NH-Sicherungseinsätzen der Betriebsklasse gTr (Transformatorschutz) nach DIN VDE 0636 Teil 22 realisiert werden. Bei Verwendung dieser Sicherungseinsätze mit den entsprechenden Bemessungswerten werden Belastungen oberhalb des 1,5fachen Transformatornennstromes innerhalb von 2 Stunden sicher abgeschaltet. Eine Absicherung in dieser Art für den Transformator 400 kVA wird in Bild 3 gezeigt.
Wird auf die Transformatorenschutz-Sicherung verzichtet, begrenzt nur die Leitungsschutzsicherung von den einzelnen Kabelabzweigen den Betriebsstrom des Transformators. Diese Absicherung birgt die Gefahr, daß bei hoher Auslastung der einzelnen Kabelabzweige die zulässigen Spitzenwerte des Transformators überschritten werden. Häufig fallen derartige lebensdauer-reduzierende Lastüberschreitungen erst nach Jahren auf.
Kurzschlüsse in den Wicklungspaketen des Transformators infolge von Isolationsfehlern führen zu einer ebenfalls schwer voraussehbaren Überlastung des Mittelspannungsnetzes. Oft kommt es zu einem langsamen aber stetigen Ansteigen des Stromes, wenn immer mehr Windungen durch Aufplatzen der Isolation kurzgeschlossen werden. Auch dieser Vorgang spielt sich im kleinen Überstrombereich des Transformators ab.
Die im Primärkreis des Transformators bisher verwendete Hochspannungs-Teilbereichssicherung ist nicht für den Schutz in diesem Überlastbereich vorgesehen. Bestenfalls erkennen vorgeschaltete Relais auf der Speiseseite des Transformators den Fehlerfall und schalten den Anlagenzweig ab, bevor es zu weiteren Schäden kommt.

3.3 Die Vollbereichssicherung als Schutz des Transformators vor Überlast

Die Vollbereichssicherung stellt einen wirksamen Schutz des Netztransformators vor aus dem Verbraucher kommenden oder durch Windungskurzschluß bedingten Überlastungen dar. Sie wird auf der Primärseite anstelle der bisher verwendeten Teilbereichssicherung eingesetzt. Auf NH-Sicherungseinsätze der Funktionsklasse gTr kann u. U. verzichtet werden.
Durch die Auswahl des Sicherungsnennstromes kann die zulässige Überlastbarkeit des Transformators beeinflußt werden. Es ist möglich, den Transformator bei z. B. 50 % Überlast innerhalb von zwei Stunden abzuschalten.
Für den Transformator mit der Nennleistung 400 kVA wurden in Bild 4 die relevanten Kennlinien zusammengetragen. Der Transformatornennstrom beträgt bei 10 kV/23 A oder niederspannungsseitig 577 A. Eine Überlastung von 70 % soll innerhalb von zwei Stunden abgeschaltet werden. Der Inrush-Punkt liegt bei einer

Zeit 10 ms und mit u_k 4 % beim 8fachen Nennstrom. Es wird eine Vollbereichssicherung 12 kV mit Nennstrom 20 A gewählt. Erreicht der Strom niederspannungsseitig 1000 A (mittelspannungsseitig 40 A) entsprechend der 70prozentigen Überlast, schaltet die Vollbereichssicherung den Transformator nach zwei Stunden ab. Ein Strom von beispielsweise 800 A (32 A) kann über einen längeren Zeitraum ohne Ansprechen der Sicherung gefahren werden: die Vollbereichssicherung erleidet keinen Schaden, und es wird kein Alterungsprozeß eingeleitet.
Der Einschaltstrom des Transformators wird von der Sicherung ebenfalls ignoriert. Mit einer ganzen Zeitdekade Abstand im Kennlinienfeld ist Vorsorge getroffen, daß die Sicherung nicht unkontrolliert abschaltet.
Bei Verwendung von NH-Sicherungseinsätzen der Betriebsklasse gL. mit Nennstrom 224 A, welche den Schutz der Netzkabel 4 × 150 mm², Al bilden, besteht ein ausreichender Selektivitätsabstand. Die Zeit/Strom-Kennlinien der Vollbereichssicherung und der gL-Sicherung berühren sich in keinem Punkt.

3.4 Die Vollbereichssicherung als Redundanzschutz

Auch bei den heutigen Absicherungskonzepten nach den einschlägigen Normen kann die Vollbereichssicherung zur Anwendung kommen. Die Vollbereichssicherung wurde von der Zeit/Strom-Kennlinie her so konzipiert, daß sie sich von eier Teilbereichssicherung gleicher Nennstromstärke nur um Nuancen unterscheidet. Damit liegt diese Zeit/Strom-Kennlinie über ihrer gesamten Länge auch innerhalb der nach DIN VDE 0670 Teil 402 empfohlenen Streubänder.
Ein Austausch gegen die vorhandene Teilbereichssicherung ist demnach möglich. Beide Sicherungseinsätze, sowohl für den Teil- als auch Vollbereich, haben bei gleicher Nennstrombezeichnung gleiche Zeit/Strom-Kennlinien-Verläufe. Als besonders positiv ist zu bewerten, daß es dadurch nicht zu Irritationen des Anwenders vor Ort durch verschiedene Nennstromwerte kommen kann. Bild 5 zeigt noch einmal die Abhängigkeiten der Zeit/Strom-Kennlinien bei Einsatz der Sicherungseinsätze nach VDE 0670 Teil 402 bei einem Transformator 400 kVA. Verwendet wird ein Sicherungseinsatz mit Nennstrom 50 A. Der Vollbereichssicherungseinsatz kann hier nicht den Überlastschutz des Niederspannungsnetzes übernehmen. Er wirkt erst ab dem 6fachen Transformatornennstrom. Überströme, infolge von Windungskurzschlüssen, werden jedoch erkannt und wirksam freigeschaltet.
Die Vollbereichssicherung kann als Redundanzschutz gewertet werden. Selbst bei Versagen aller nieder- und mittelspannungsseitig vorhandenen Schutzglieder kann die Vollbereichssicherung eine letzte Sicherheit bieten, bevor es zu Schäden in der Anlage, an Gebäuden oder der Pheripherie kommen kann.

4. Zusammenfassung

Der VS-Schutz stellt einen bedeutenden Fortschritt gegenüber der herkömmlichen Teilbereichssicherung dar.
Vollbereichssicherung auf der Basis des Multi-Schmelzleitersystems und der Erwärmungszone, wie sie von der SIBA Sicherungen-Bau GmbH angeboten werden, übernehmen den wirksamen Schutz von Transformatoren gegen Überlast vom Verbraucher und aus Transformatordefekten. Auch nach den heutigen Absicherungskonzepten entsprechend den einschlägigen Normen der EVU und Empfehlungen des VDE kommt die Vollbereichssicherung zur Anwendung. Neben den Vorteilen der auffällig niedrigen Werte der Leistungsabgabe und der Erwärmung dieser Sicherungseinsätze sind Merkmale, wie Alterungsfreiheit (kein Lot auf dem Schmelzleiter) und Temperaturbeständigkeit der Zeit/Strom-Kennlinien (Schmelzpunkt 600 °C) zu nennen.

Literatur

[1] HEC 282-1: High voltage fuses
[2] DIN VDE 0670 Teil 4 (Entwurf): Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV, Strombegrenzende Sicherungen
[3] DIN 43 625: Hochspannungs-Sicherungen Nennspannung 3,6 bis 36 kV. Maße für Sicherungseinsätze
[4] DIN VDE 0670 Teil 402: Auswahl von strombegrenzenden Sicherungseinsätzen für Transformatorstromkreise EA 6193

EMV-Blitzschutzkonzept für Niederspannungs- und Automatisierungsanlagen

P. Hasse, Neumarkt; W. Naumann, Dresden

Herrn Professor Dr.-Ing. Winkelnkemper zum 80. Geburtstag

Alle Bereiche der Wirtschaft sind heute in hohem Maße von der elektronischen Datentechnik abhängig. Meß-, Steuer- und Regelanlagen sowie elektronische Datenverarbeitungsanlagen erstrekken sich über weite Flächen in Fabriken und darüber hinaus: Automatische Betriebsdatenerfassungsgeräte an den Produktionseinrichtungen sind mit Terminals und Computern in der Verwaltung über informationstechnische Netze verbunden, CIM (Computer Integrated Manufacturing) wird Schritt für Schritt realisiert.
Verwaltungseinheiten der Infrastruktur eines Landes sind an das Rechenzentrum ihrer Zentrale angeschlossen.
Zu den häufigsten Ausfallursachen solcher elektronischen Anlagen gehören Überspannungen (Bild 1), die den Signalfluß beeinflussen und elektronische Betriebsmittel zerstören können (Bild 2). Betroffen sind sowohl der gewerbliche als auch der technische und private Bereich (Tafel 1) [1].
Die Kosten für Entschädigungsleistungen der Versicherer für Überspannungsschäden an elektronischen Anlagen, wie Kommunikationssysteme, Computer, Meßgeräte und medizinische Apparate haben sich in den vergangenen drei Jahren verdoppelt (Bild 3). 1986 waren 14 % aller Schadenszahlungen auf Überspannungen zurückzuführen, 1989 waren es 28,7 %, damit liegen diese Schadenssummen weit über denjenigen für Brand, Wasser, Einbruch, Sabotage und Diebstahl zusammen.
Direkte Blitzeinschläge (Bild 4) sind die härteste Bedrohung für elektronische Systeme. Gefährdet sind diese Einrichtungen aber auch durch Einkopplung elektromagnetischer Felder und durch leitungsgeführte Stoßspannungen und -ströme (Bild 5) [2].
Der dadurch verursachte Gesamtschaden an diesen Geräten dürfte in der Bundesrepublik Deutschland schon ab 1988 die 500 Mio.-Grenze überschritten haben [3]. Hierbei handelt es sich nur um die direkten Kosten, d. h. Folgeschäden (z. B. der Stillstand einer Fertigungsstraße), die in der Regel erheblich über den direkten Kosten liegen, sind darin nicht enthalten.
Im folgenden werden, ausgehend vom EMV-orientierten Blitz-Schutzzonen-Konzept, bewährte Schutzmaßnahmen, die dem aktuellen Stand der Normung und der Technik entsprechen, vorgestellt. Diese sollten bereits bei Planung und Errichtung von Neubauten bzw. beim Installieren starkstromtechnischer und informationstechnischer Anlagen berücksichtigt werden. Ein Nachrüsten ist zwar möglich, aber der Kostenaufwand dafür ist entsprechend höher.

1. Schadensbeispiele

Nur einige Beispiele sollen die Notwendigkeit und das Erfordernis für Überspannungsschutzmaßnahmen im Rahmen einer EMV-Planung unterstreichen.
Oft kam es zu Stillstandszeiten verbunden mit Produktionsausfällen in Europas größtem computergesteuerten Lastkraftwagenwerk der Daimler-Benz AG in Wörth. Die Computer in der Mate-

Dr.-Ing. *Peter Hasse* ist Geschäftsführer, Dr.-Ing. *Werner Naumann* ist technischer Werbebeauftragter der Firma Dehn + Söhne GmbH + Co. KG, Nürnberg + Neumarkt.

Tafel 1. Gefährdungs-Schemata – Überspannungsgefährdete Bereiche und Anlagen –

Gefährdet		
im gewerblichen Bereich	in technischen Anlagen	im Privatbereich
Gewerbe	MSR-Anlagen	Fernsehgeräte
Industrie	Informationsanlagen	Personalcomputer
Handwerk	Computer	Haushaltgeräte
Landwirtschaft	EDV-Anlagen	Heizungsanlagen
Handel	Kommunikationsanlagen	Meldeeinrichtungen
Banken	Schutzeinrichtungen	
Versicherungen	Rundsteueranlagen	
MSR-Einrichtungen	Alarmanlagen	
in der industriellen		im medizinisch ge-
Prozeßtechnik	Meßstationen	nutzten Bereich
Roboter	Sendeanlagen	Krankenhäuser
Gasüberwachung	Schaltwarten	
(UEG/OEG)	Vernetzte Anlagen	
Tragluftbauten	Betriebserfassungsgeräte	in öffentlichen Ein-
Sportstätten		richtungen
EDV-Anlagen	Feuerleitanlagen	Kirchtürme
Walzstraßen	Aufzugsanlagen	Museen
Chemieanlagen	Dampfkesselanlagen	Baudenkmäler
Rechner im Bankwesen	Acetylenanlagen	Versammlungsstätten
mit Rechenzentren	Anlagen für brennbare	
	Flüssigkeiten	
	Druckbehälteranlagen	
	Anlagen in explosionsge-	
	fährdeten Räumen	
	Explosivstoffgefährdete	
	Anlagen	
	Fernmeldeanlagen	

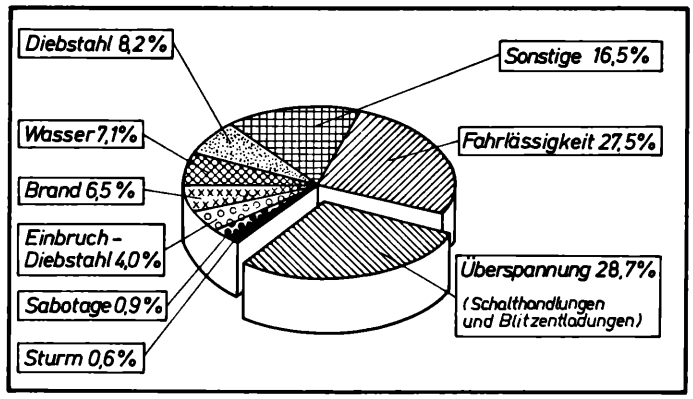


Bild 1. Elektronik-Schadensursachen 1989 (Entschädigungen) (Quelle: Württembergische Feuerversicherung AG, Stuttgart)

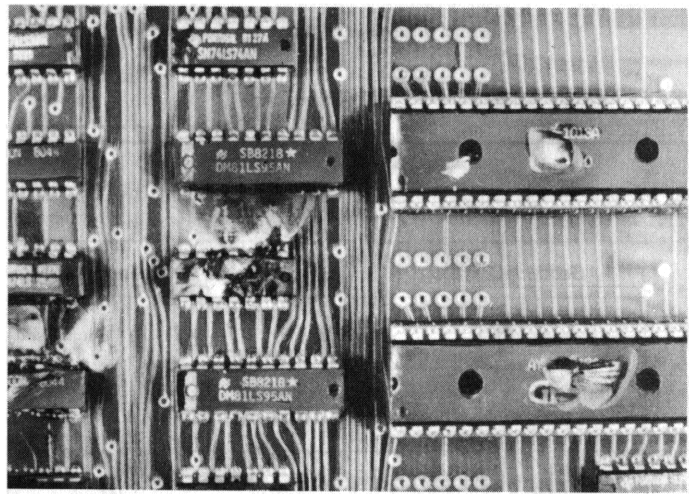


Bild 2. Durch Blitzüberspannungen zerstörte Computerplatine

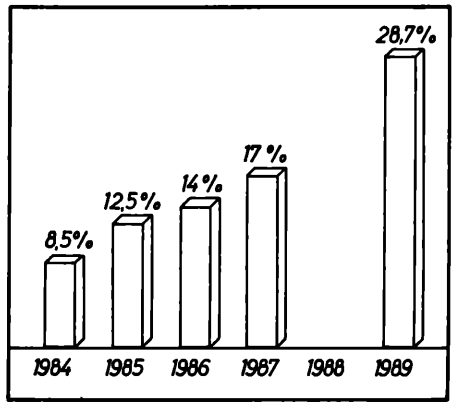
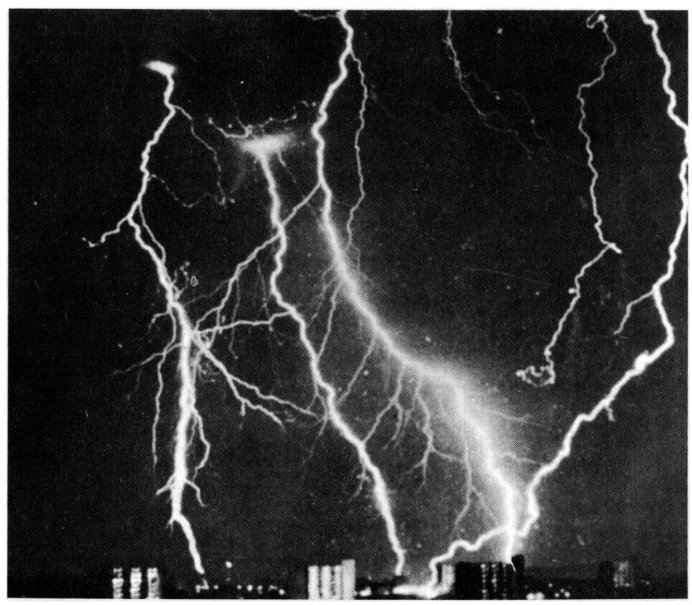


Bild 3. Entwicklung der Entschädigungen für Überspannungsschäden (Quelle: Württembergische Feuerversicherung AG, Stuttgart)

Bild 4. Blitze – eine Bedrohung für elektronische Systeme (Bild: Schaap Deventer)



rialwirtschaft sind mit denjenigen in der Produktionssteuerung über eine Gleichstrom-Datenübertragungsanlage verbunden. Durch Gewitter-Beeinflussung wurden die angeschlossenen Geräte wiederholt zerstört.

Schwerpunktmäßig wurden zunächst für einzelne Übertragungsstrecken angepaßte Schutzmaßnahmen ausgeführt. Bei nachfolgenden Gewittern wurden die nicht geschützten Anlagenteile wiederholt beschädigt, die geschützten Strecken blieben jedoch intakt, so daß man sich entschloß, die gesamte Datenübertragung zu schützen, mit dem Erfolg, daß bis heute trotz vieler Blitzeinschläge keine Beschädigungen oder gar Stillstandszeiten mehr aufgetreten sind.

Daß die Sekundärschäden höher sind als die durch Beeinflussung hervorgerufenen Primärschäden zeigt das nächste Beispiel.

In einem Textilbetrieb der DDR lösten infolge eines Direkteinschlages in das Dach eines Hochregallagers die Ionisationsmelder die Brandmeldeeinrichtung aus und setzten die automatische Löscheinrichtung in Tätigkeit. Der sekundäre Schaden betrug 1 Mio. Mark. Die Lagerhalle aus Stahlbeton besitzt eine Äußere Blitzschutzanlage, die den Anforderungen der damals geltenden Blitzschutzbestimmungen, TGL 200-0616, entspricht. So konnte der Blitzstrom zwar (ohne weitere äußere Beschädigung am Gebäude zu hinterlassen) ins Erdreich abgeführt werden, die Beeinflussung wegen des Fehlens innerer Blitzschutzmaßnahmen jedoch nicht verhindert werden.

Eine ähnliche Situation führte in der Zuschnittabteilung eines Konfektionsbetriebes in Dresden 1989 zum Produnktionsstillstand, weil das 80 m lange Datenkabel zwischen dem Zentralrechner und der Maschinensteuerung innerhalb des Hauses durch Direkteinschlag in das Dach beeinflußt wurde. Die Äußere Blitzschutzanlage konnte diesen Schaden nicht verhindern, und Maßnahmen des inneren Blitz- und Überspannungsschutzes fehlten.

Besonders gefährdet sind Anlagen mit gebäudeüberschreitenden Kabeln und Leitungen. So kam es bei Gewittern im Mai und Juni 1989 in den Leunawerken zum Ausfall elektronischer Steuerungs- und Überwachungseinrichtungen und zum Produktionsstillstand. Dezentrale Sensoren in der Prozeßanlage sind mit der Warte über Kabel verbunden, die einseitig mit ihrem Schirm mit der Potentialausgleichsschiene der Warte verbunden sind, ansonsten aber wurde auf den vollständigen Blitzschutz-Potentialausgleich verzichtet und nur ausgewählte Leitungen mit Schutzdioden beschaltet. Die Schadenskosten überschritten die Mio.-Grenze.

Die Ursachen für diese Schäden lassen sich am Bild 6 erläutern: Beim Blitzeinschlag in das Gebäude 1 fließt schon allein aufgrund

Bild 5. Gefährdung eines Gerätes mit elektronischen Bauteilen durch Elektromagnetische Felder aus: Schalthandlungen (SEMP), Blitzentladungen (LEMP) und Nuklearexplosionen (NEMP) sowie durch Stoßspannungen und -ströme an den Leitungsanschlüssen

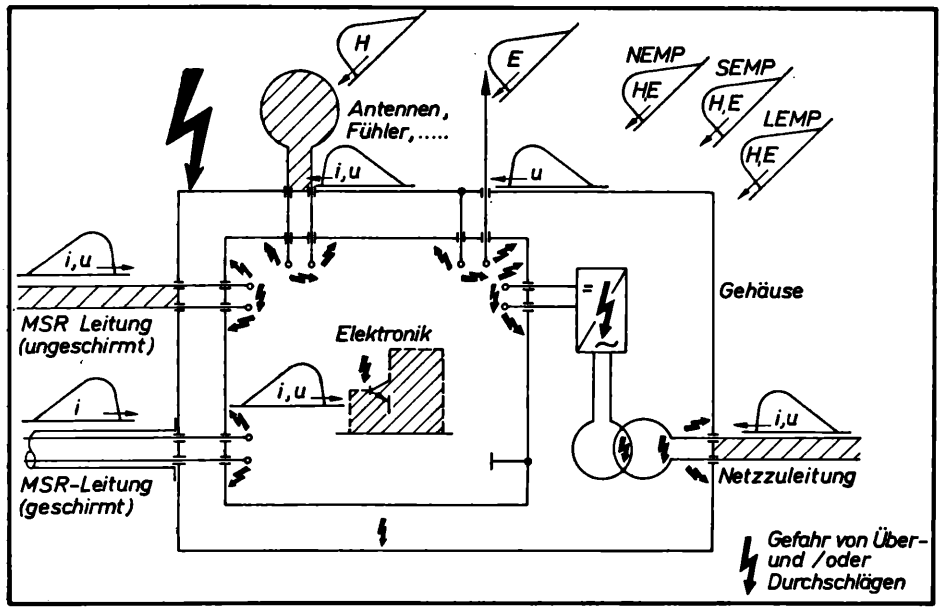


Bild 6. Bei Blitzschlag in das Gebäude ① Überspannungsschäden in ① und ②

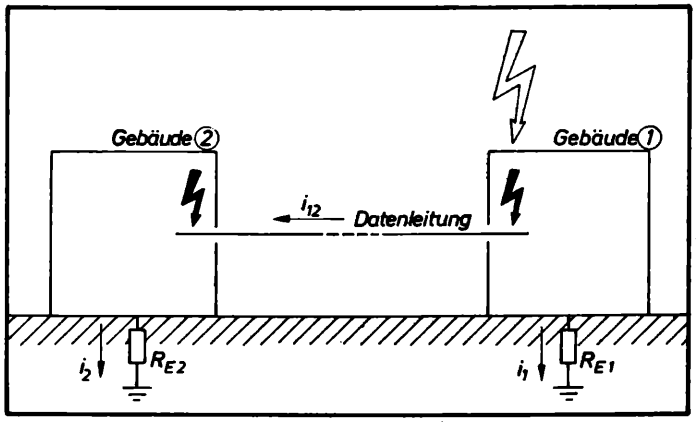


Bild 7. Blitzschutz-Potentialausgleich für eingeführte Leitungen
1 Blitzstromableiter für energietechnisches Netz
2 Blitzstromableiter für informationstechnisches Netz
3 Trennfunkenstrecke
BSZ: Blitz-Schutzzone; PAS: Potentialausgleichsschiene

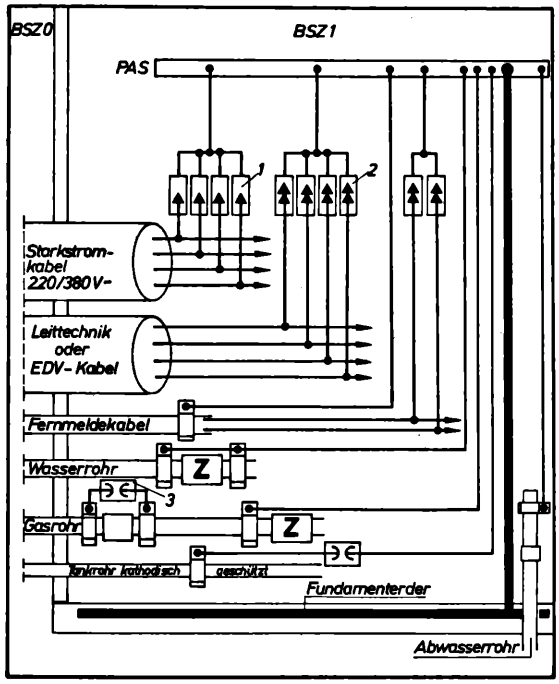
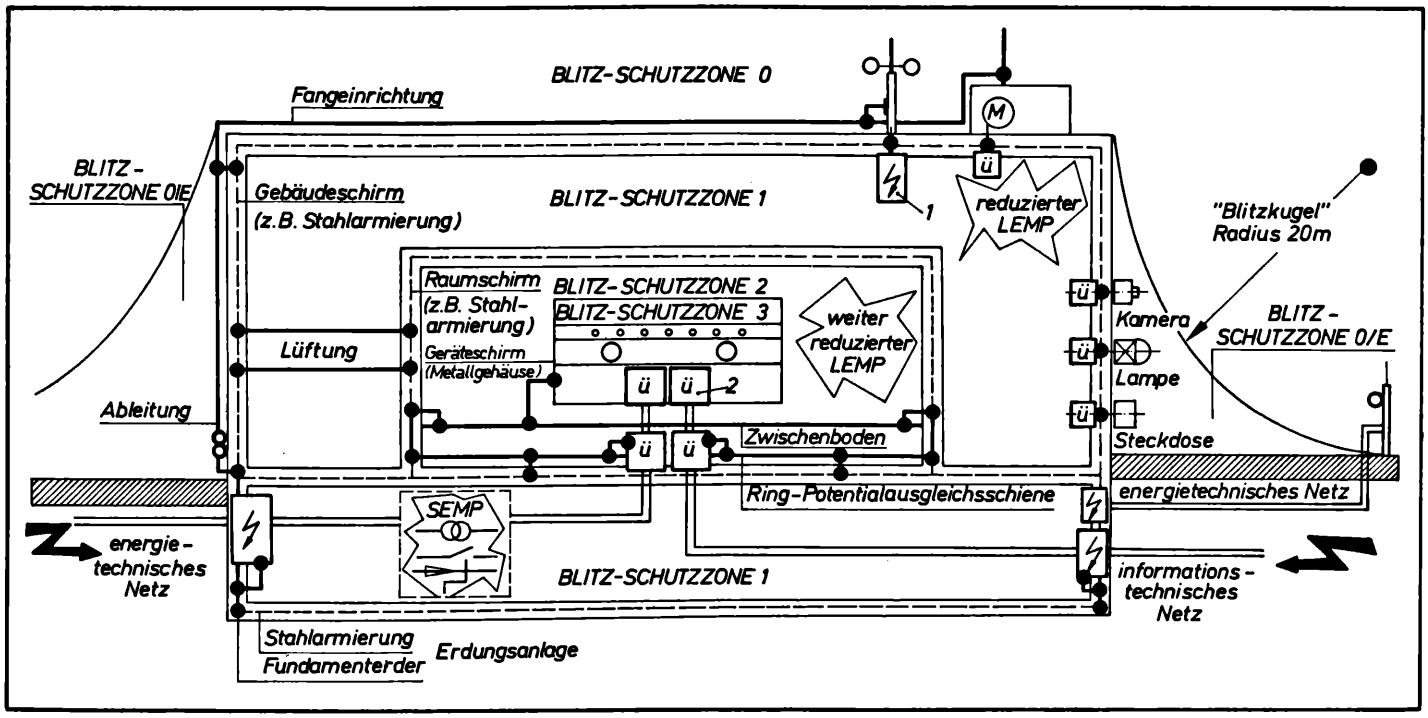


Bild 8. Blitz-Schutzzonen: Schirmung und Potentialausgleich an den Schnittstellen
1 Blitzschutz-Potentialausgleich; Blitzstromableiter
2 örtlicher Potentialausgleich; Überspannungsableiter



Tafel 2. Normen für Blitz- und Überspannungsschutz

Nr.	Titel	Hinweis TGL
DIN VDE 0185 Teil 1/11. 82 Teil 2/11. 82 Teil 100/10. 87	Blitzschutzanlage – Allgemeines für das Errichten Errichten besonderer Anlagen Festlegungen für den Gebäudeblitzschutz	TGL 200–0616
CEI/IEC 1024-1: März 1990	Protection of structures against lightning, Part 1: General principles	
VG 96 900 ff	Schutz gegen Nuklear-Elektromagnetischen Impuls (NEMP) und Blitzschlag	
DIN VDE 0100/ 05. 73 § 18 Teil 410/11. 83 Teil 443 A1/02. 88 Teil 540/05. 86	Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V – Schutzmaßnahmen; Schutz gegen gefährliche Körperströme Maßnahmen, Schutz gegen Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse Auswahl und Errichten elektrischer Betriebsmittel; Erdung, Schutzleiter, Potentialausgleichsleiter	TGL 200–0602
DIN VDE 0110 Teil 1/01. 89 Teil 2/01. 89	Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Grundsätzliche Festlegungen Bemessung der Luft- und Kriechstrecken	TGL 20445/03
DIN VDE 0141/ 07. 89	Erdungen für Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV	TGL 200–0603
DIN VDE 0151/ 07. 86	Werkstoffe und Mindestmaße von Erdern bezüglich der Korrosion	TGL 200–0603
DIN VDE 0160/ 05. 88	Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln	TGL 200–0655
DIN VDE 0165/ 09. 83 A1/09. 86	Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen	
DIN VDE 0190/ 05. 86	Einbeziehen von Gas- und Wasserleitungen in den Hauptpotentialausgleich von elektrischen Anlagen	
DIN VDE 0675 Teil 6/Entwurf 11. 89	Überspannungsableiter zur Verwendung in Wechselstromnetzen mit Nennspannungen zwischen 100 V und 1000 V	TGL 16428
DIN VDE 0800/ Teil 1/05. 89 Teil 2/07. 85	Fernmeldetechnik – Allgemeine Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für die Sicherheit der Anlagen und Geräte Erdung und Potentialausgleich	TGL 200–0605
DIN VDE 845/ Teil 1/10. 87 Teil 2/Entwurf	Schutz von Fernmeldeanlagen gegen Blitzeinwirkungen, statische Aufladungen und Überspannungen aus Starkstromanlagen – Maßnahmen gegen Überspannungen Überspannungsschutzeinrichtungen (zum Gelbdruck freigegeben)	TGL 200–0605

Stand: Juli 1990

der galvanischen Kopplung ein Teilstrom in das Gebäude 2 und ruft dort Schäden hervor, denn im Gebäude 1 entstehen Überschläge zur Leitung am „Loch" des durch Äußere Blitzschutzanlage und Schirmung gebildeten *Faraday*-Käfigs.

Mitunter wird die Öffentlichkeit aufgeschreckt mit Berichten über Blitzeinschläge in Elektrizitätsversorgungsanlagen, ja sogar in Atomkraftwerke.

1983 schlugen Blitze in die 100 kV/20 kV-Anlage der Stadt Neumarkt ein. Dabei kam es zu erheblichen Zerstörungen im Schalthaus, wobei auch die 220 V-Gleichstromsteuerung ausfiel, die den weiteren Schaden durch entsprechende Abschaltungen hätte begrenzen können. So kam es nicht nur im betroffenen Schaltfeld zu Überschlagslichtbögen, sondern auch zur Lichtbogenausweitung auf andere Schaltfelder, zu Freileitungsseilrissen und zur Explosion des speisenden 100 kV-Transformators. Die gesamte Stadt Neumarkt (32000 Einwohner) war danach für 6 Stunden ohne Strom.

1987 wurde im Neumarkter 20 kV-Kabelnetz eine Fehlstelle gesucht, wobei mehrfach geschaltet wurde. Dadurch traten Schaltüberspannungen im 220/380 V-Netz auf, in deren Folge es zu Überschlägen mit zerstörender Lichtbogenbildung in der Blindstromkompensationsanlage des Schlachthofes kam.

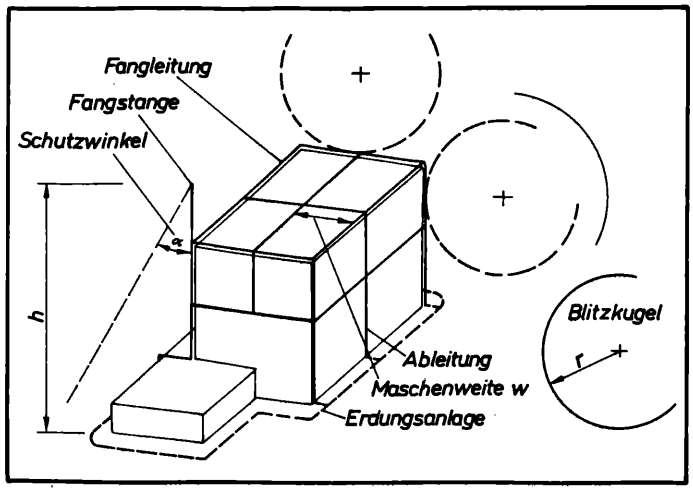


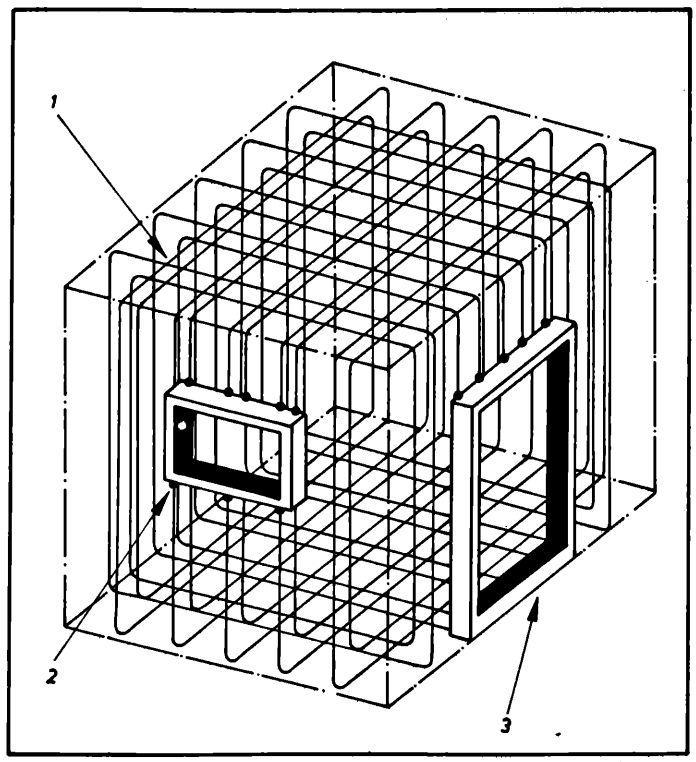
Bild 9. Verfahren für die Auslegung von Fangeinrichtungen:
- Blitzkugel
- Schutzwinkel
- Masche

Tafel 3. Behördliche Zuständigkeiten für das Überspannungsschutz-System von „Objekt"- und „Arbeitsschutzbehörden"

Überspannungsschutzsysteme		
A	B	C
Äußerer Blitzschutz zuständig	Innerer Blitzschutz zuständig	Überspannungsschutz elektrischer Systeme zuständig
Bauämter generell Gewerbeaufsichtsämter für Spezialbereiche	Bauämter und Gewerbeaufsichtsämter	Gewerbeaufsichtsämter generell

Für A-B-C: In Einzelfällen und für besondere Anlagen, z. B. Kernenergie, Abfallbeseitigungsanlagen, Anlagen, die dem Wasserrecht unterliegen, z. B. Kläranlagen, Wasseraufbereitungsanlagen usw. können zuständig sein; Landesministerien, Bezirksregierungen, Landkreise, Städte, Kommunen, Wasserwirtschaftsämter u. a. m.

Bild 10. Schematische Darstellung einer Abschirmung aus Bewehrungsstahl mit Öffnungen; *1* geschweißt an Kreuzungspunkten; *2* geschweißt an jedem Stab; *3* Massiver, ununterbrochener Türrahmen



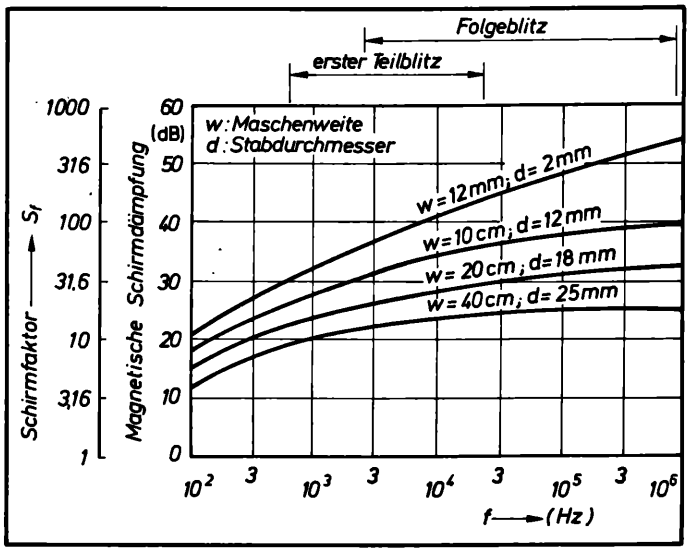


Bild 11. Abschirmwirksamkeit von Bewehrungsstahl

Schaltspannungen waren auch die Ursache für den Ausfall von Wirkmaschinensteuerungen in einer Textilfabrik in Zeulenroda im vorigen Jahr. Durch das Schalten leistungsstarker Motoren der Klimaanlage und der Wirkmaschinenantriebe wurden Überspannungen erzeugt, die die Netzfilter der Stromversorgung der Steuerung und die elektronische Steuerung selbst zerstörten. Die galvanische Einkopplung der Schaltüberspannungen geschah vorwiegend über die gemeinsame Unterverteilung, an der die Antriebsmotoren und die Steuerung angeschlossen waren. Ein EMV-gerechtes Überspannungsschutzkonzept fehlte.

Gründe für das starke Ansteigen überspannungsbedingter Schäden liegen

- in der zunehmenden Empfindlichkeit elektronischer Geräte,
- in ihrer ständig wachsenden Anzahl
- und der zunehmenden, großflächigen Vernetzung elektronischer Anlagen.

Weltweit gilt heute, daß der Radius des Gefährdungskreises um den Blitzeinschlagsort mindestens 1 km beträgt.

2. Stand von Normung und Technik

In der Tafel 2 sind die wesentlichen, zur Zeit als anerkannte Regeln der Technik geltenden Normen für den Schutz gegen Blitzeinwirkungen und Überspannungs-Beeinflussungen aus Starkstromanlagen zusammengestellt, ergänzt durch entsprechende Hinweise auf TGL-Vorschriften.

Aufgrund des Energiewirtschaftsgesetzes, des Gesetzes über technische Arbeitsmittel und der Unfallverhütungsvorschriften (z. B. VBG 4) der Bundesrepublik sind diese anerkannten Regeln der Technik zu beachten. Die behördlichen Zuständigkeiten sind in Tafel 3 aufgezeigt [1].

DIN VDE 0185 ist die bisherige Grundnorm für den Blitzschutz von baulichen Anlagen – im März 1990 ist die weltweit gültige Norm IEC 1024-1 veröffentlicht worden. Hier wird beispielsweise der lückenlose Blitzschutz-Potentialausgleich gefordert, in den alle in ein Gebäude eintretenden, elektrischen Leitungen einbezogen werden müssen (Bild 7).

Das im folgenden vorgestellte, fortschrittliche und auf sogenannten Schutzzonen aufbauende Schutzkonzept berücksichtigt die un-

Tafel 4. Einteilung von Ableitern für Wechselstromnetze zwischen 100 V bis 1000 V entsprechend DIN VDE 0675 Teil 6/Entwurf 11.89

	Anforderungen an Ableiter entsprechend		
Ableiter der Anforderungsklasse	Einsatzort	Schutzpegel	Belastbarkeit
A Ableiter zum Einsatz im Freien, an NS-Freileitungen	– kein Schutz gegen direktes Berühren erforderlich – können bei direkten Blitzeinschlägen überlastet bzw. zerstört werden – Isolationsfestigkeit auch bei Witterungseinflüssen	entsprechend IEC Publ. 99.1 (Tab. 1, in Beratung	entsprechend IEC Publ. 99.1 bzw. DIN VDE 0675 Teil 1 (i_{sn} = 5 kA (8/20))
B Ableiter zum Zwecke des Blitzschutzpotentialausgleiches (für Überspannungskategorie IV nach DIN VDE 0110 Teil 1)	– Schutz gegen direktes Berühren erforderlich – kein Defekt bzw. Brandgefahr bei Beanspruchung entsprechend geforderter Belastbarkeit	entsprechend Überspannungskategorie IV nach DIN VDE 0110 Teil 1	entsprechend IEC TC 81 bzw. DIN 48810, Anhang (DIN VDE 0185) (Blitzprüfstrom)
C Ableiter zum Überspannungsschutz (für Überspannungskategorie III nach DIN VDE 0110 Teil 1)		entsprechend IEC Publ. 99.1 (Tab. 1, in Beratung)	entsprechend IEC Publ. 99.1 bzw. DIN VDE 0675 Teil 1 (i_{sn} = 5 kA (8/20))
D Ableiter zum ortsveränderlichen Einsatz an Steckdosen (für Überspannungskategorie II nach DIN VDE 0110 Teil 1)		entsprechend Überspannungskategorie II nach DIN VDE 0110 Teil 1	reduzierter Wert entsprechend Einsatzort (i_{sn} = 1,5 kA (8/20))

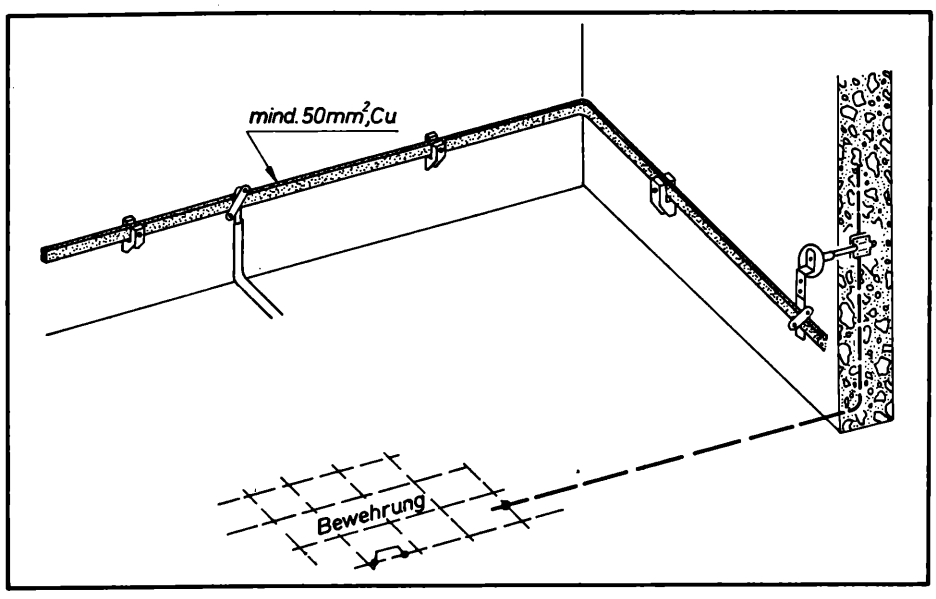
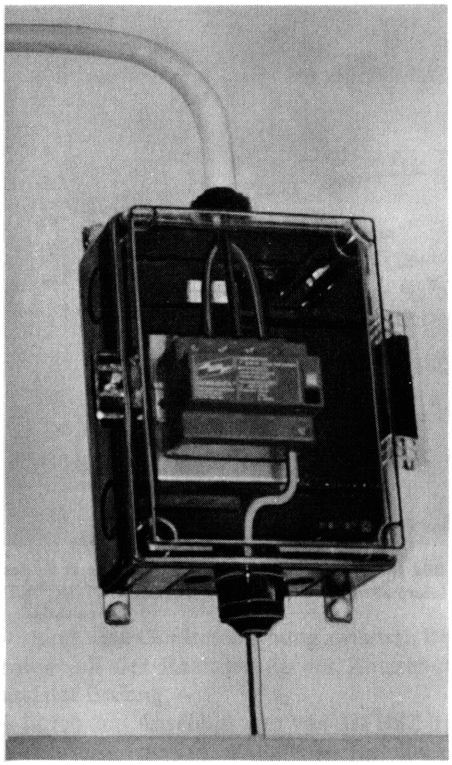


Bild 12. Blitzschutzpotentialausgleich/Erdungsringleiter nach DIN VDE 0185 bzw. DIN VDE 0800 Teil 2



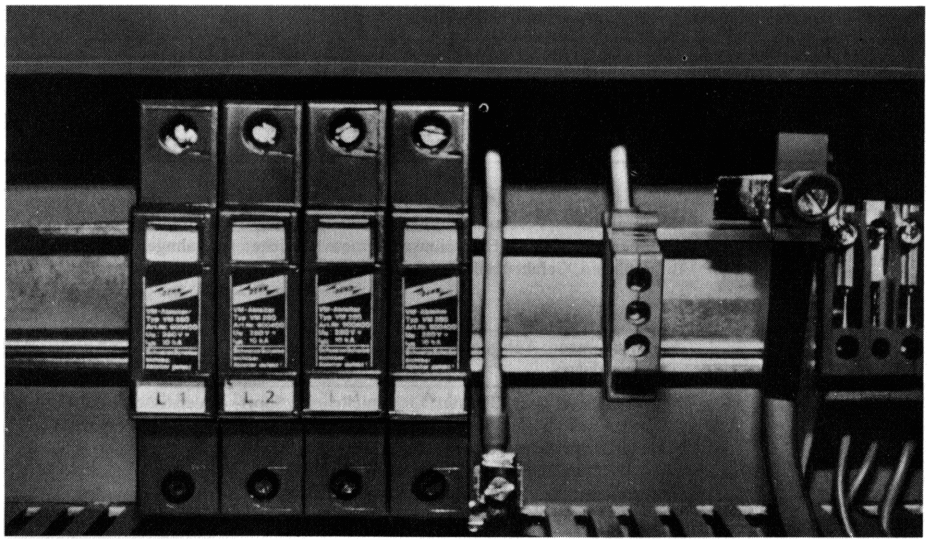


Bild 15. Einsatz von Überspannungsableiter des Types VM auf der Profilschiene einer Unterverteilung

Bild 13. Das DEHN-VENTIL®, ein Blitzstromableiter, gezeigt im Isolierstoffgehäuse

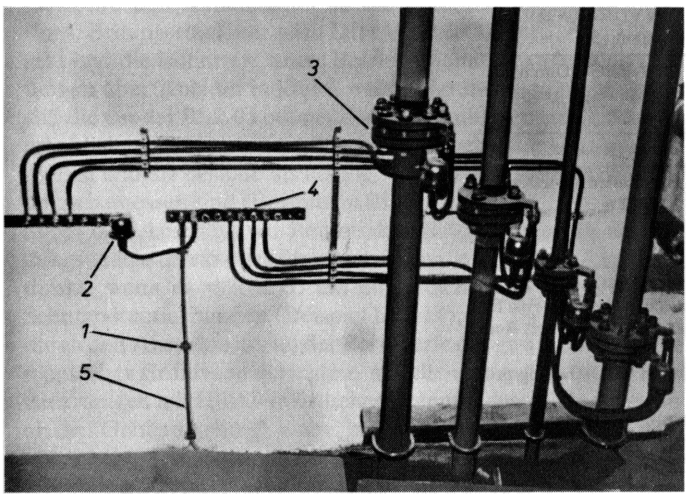


Bild 14. Blitzschutz-Potentialausgleich zu metallenen Installationen am Beispiel einer Ex-Anlage
1 Ex-Trennfunkenstrecke
2 Potentialausgleichschiene mit kathodischem Schutzpotential (Kathodischer Korrosionsschutz)
3 Isolierflansch; *4* Potentialausgleichschiene; *5* Erdungsleitung

Tafel 5. EMV-gerechte Blitzschutzplanung

1. DEFINITIONSPHASE
   - Stand der Vorschriften und der Technik
   - Erstellen eines EMV-Blitzschutzgrundkonzeptes
2. PROJEKTIERUNGSPHASE 1
   - Zu schützende Anlage besteht: Istaufnahme
   - Zu schützende Anlage in Planung: Feststellen bzw. Erarbeiten der Gegebenheiten für den EMV-Blitzschutz
3. PROJEKTIERUNGSPHASE 2
   - Erstellen des LV-reifen Maßnahmenkataloges für einen technisch/wirtschaftlich ausgewogenen EMV-Blitzschutz
4. REALISIERUNGSPHASE
   - Einweisung des Montagepersonals
   - Überwachung und Dokumentation der Ausführung der EMV-Blitzschutzmaßnahmen
   - Gegebenenfalls Aufzeigen von notwendigen Nachbesserungen
5. ABNAHMEPHASE
   - Abnahme nach vorgegebener Spezifikation und Erstellen eines Abnahmerprotokolls
   - Bei Bedarf Enweisung von Personal des Auftraggebers in die Überwachung und Prüfung der Blitzschutzanlage und -geräte
   - Bei Bedarf Prüfung und Funktionsnachweis vor Ort mit Blitzstörsimulatoren
6. ÜBERWACHUNGSPHASE
   - Wiederkehrende Durchführung und Dokumentation von Inspektionen und Aufzeigen von notwendigen Nachbesserungen.
7. ERWEITERUNGSPHASE
   Aufzeigen und Spezifizieren von konzeptkonformen EMV-Blitzschutzmaßnahmen bei Erweiterungen der zu schützenden Anlagen und Systeme.

verzichtbaren Anforderungen aller genannten Normen in vollem Umfang.

3. EMV-gerechtes Blitz-Schutzzonen-Konzept

Mit der Einführung sogenannter Blitz-Schutzzonen (BSZ) lassen sich komplexe, bauliche Anlagen in überschaubare Bereiche unterteilen, die bezüglich der elektromagnetischen Bedingungen weitgehend homogen sind. An den Grenzflächen dieser BSZ ergeben sich für alle schutzzonen-übergreifenden metallenen Leitungen eindeutige Schnittstellen, für die Behandlungsmaßnahmen definiert werden können [4].

Das geschützte Volumen befindet sich in einer elektromagnetischen Umwelt, die durch die BSZ 0 gekennzeichnet ist. Hier sind direkte Blitzeinschläge möglich, ungehindert können sich elektromagnetische Blitzfelder (LEMP) ausbreiten, andere elektromagnetische Felder (z. B. SEMP) können ebenfalls auftreten. Das geschützte Volumen wird durch die BSZ 1 bis *n* beschrieben (Bild 8).

An der Schnittfläche der BSZ 0 und 1 befindet sich die Äußere Blitzschutzanlage mit den integrierten metallenen Komponenten, die zusammen einen mehr oder weniger wirksamen, elektromagnetischen Schirm bilden. In BSZ 1 sind direkte Blitzeinschläge ausgeschlossen, elektromagnetische Einstrahlungen sind reduziert. Nach der Schutzraumtheorie gibt es zwischen der BSZ 0 und 1 noch einschlaggeschützte Bereiche, die mit BSZ 0/E bezeichnet werden. Hier herrschen allerdings die originalen elektromagnetischen Felder.

Innerhalb des geschützten Volumens können nach der BSZ 1 weitere BSZ, z. B. BSZ 2 für Räume und BSZ 3 für das Innere von Geräten, eingerichtet werden.

Je höher die Kennzahl einer Blitz-Schutzzone ist, desto niedriger sind die elektromagnetischen Einwirkungen im betrachteten Bereich.

4. Realisierung des EMV-Blitz-Schutzzonen-Konzeptes

Die in Abschnitt 3 vorgestellte Schutz-Philosophie basiert auf der Realisierung bestimmter Schirmungen

- durch eine Äußere Blitzschutzanlage nach Bild 9 [5] (in die Blechdächer, Wandarmierungen und Metallfassaden, wie im

Tafel 6. Prüflisten für Überspannungsschutzsysteme – Beispiele

Nr.	Zeitangabe	Anlagenart	Fundstelle
A) Prüfungen der Blitzschutzanlagen nach DIN VDE 0185 „Äußerer Blitzschutz" – „Innerer Blitzschutz"			
1.0	Erstprüfung	Sämtliche Anlagen	DIN VDE 0185 Teil 1
2.0	Wiederholungs-prüfungen		
2.1	1jährig	Kernkraftwerke; Personenbahnen, Bauaufzüge mit Personenbeförderung; Explosionsgefährdete Bereiche; Bohranlagen; Gefahrstofflager	AtomG; Strahlsch-VO Bahngesetze; Sprengrecht; Bergrecht; AufzV; Erlasse ①; GefStoffV; TRGS
2.2	2jährig	Acetylenanlagen; Anlagen für brennbare Flüssigkeiten; Aufzugsanlagen	Acetylen V; AufzV; Erlasse ①
2.3	3jährig	Versammlungsstätten (Theater, Lichtspielhäuser, Sportstätten), Kirchen, Waren- und Geschäftshäuser, Lagerhäuser, Krankenhäuser, Justizvollzugsanstalten, Schulen, Schlösser, Burgen, Museen, Archive, Bibliotheken, Großgaragen, Druckgasbehälter 2, Flugplatzanlagen, Explosionsgefährdete Betriebsstätten	VersStättV; Waren- und GeschhVo; GaragV ElexV; BauOen; SchulbauRichtl.; LuftverkG; VdS-Richtlinien; Erlasse ①
2.4	4jährig	Aufzugsanlagen	AufzV; Erlasse ①
2.5	5jährig	Anlagen zur Lagerung und Abfüllung brennbarer Flüssigkeiten – differenziert; Anlagen in der Industrie; freistehende Schornsteine; Fernmeldetürme, Aussichtstürme, Landwirtschaftsbetriebe, Windmühlen, Hochhäuser, Wohn- und Wirtschaftsgebäude	VbF; BauOen; GewO; VdS-Richtlinien; Erlasse ①
2.6	verschieden	Gashochdruckleitungen; eigene Planfestlegung kraft Verordnung	Gashochdruckleitungsverordnung § 10
B) Prüfung des Überspannungsschutzes elektrischer Systeme			
3.0	laufend	Erhalten des ordnungsgemäßen Zustands	DIN VDE 0105 Teil 1 Abschnitt 5
4.1	4jährig	Alle ortsfesten elektrischen Betriebsmittel ③	UVV-VBG4, Durchführungsanweisung zu § 5; Erlasse ①
4.2	6 Monate	Alle nicht ortsfesten Betriebsmittel ③	wie vor (Erlasse ①)
5.0	1- bis 5jährig nach A.	Kernkraftwerke, Personenbahnen, explosivstoffgefährdete Bereiche, Bohranlagen, Acetylenanlagen, Anlagen für brennbare Flüssigkeiten, Aufzugsanlagen, Flugplätze, Gashochdruckleitungen	Fundstellen wie unter A) 2.1 bis 2.6

① Erlasse: In Erlassen, Verfügungen, Nebenbestimmungen zu Bauvorhaben, Erlaubsnisvorhaben Genehmigungsvorhaben, nach speziellen internen behördlichen Regelungen oder in begutachteten Einzelfällen wird die Frist für die Wiederholungsprüfung festgelegt, z. B. durch Gewerbeaufsichtsämter, Bauordnungsämter, Bergämter, Bundeswehr, Bundespost, Bundesbahn, Staatshochbauämter der Länder.
② Druckgasbehälter, aber auch andere technische Einrichtungen unterliegen differenzierten Wiederholungsprüfungen.
③ Die Festlegungen gelten bei normalen Betriebsbedingungen. Sie sind bei höheren Beanspruchungen im Einzelfall zu verkürzen.

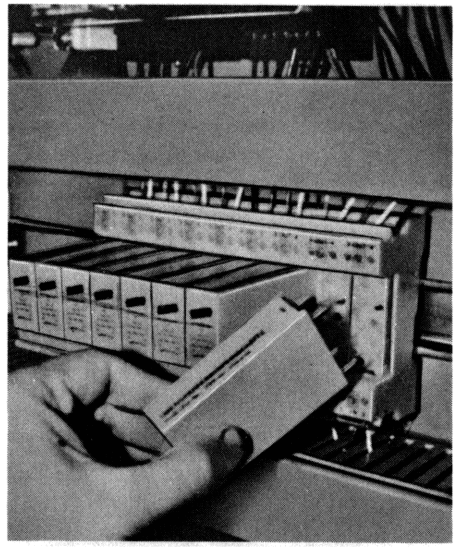


Bild 18. Teilbares Überspannungsschutzgerät für das informationstechnische Netz – BLITZDUCTOR® KT

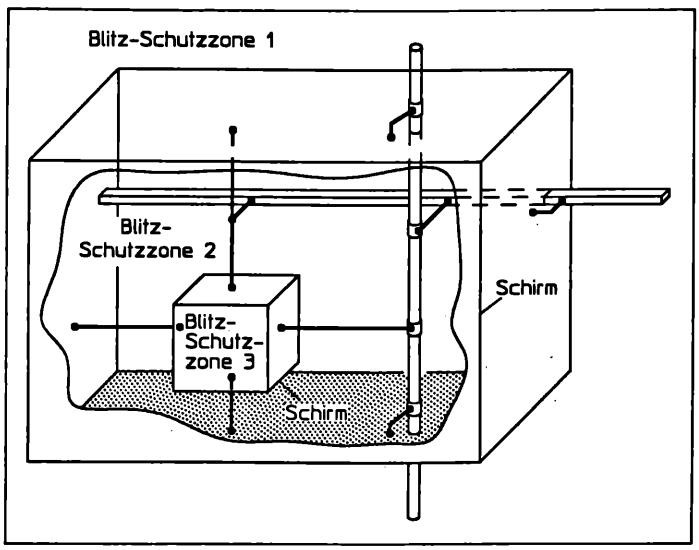


Bild 16. Mehrfache Verbindung der metallenen Installationen

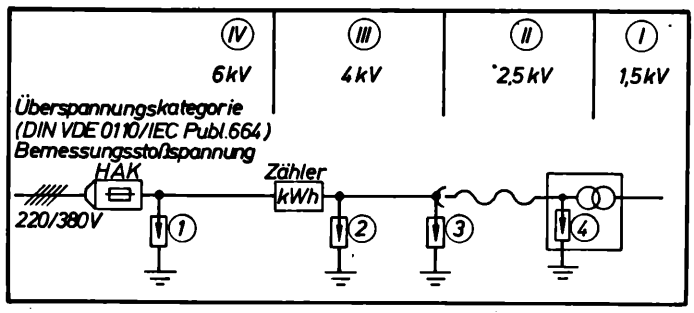


Bild 17. Einsatzmöglichkeiten von DEHN-Überspannungsschutzgeräten in den IEC-VDE-Überspannungskategorien

DEHN-Überspannungsschutzgerät	Schutzpegel u_{sp}	Nennableitstoßstrom i_{sN}
1 DEHNVENTIL®	<4kV	100kA, 10As, $5 \cdot 10^5$ J/Ω (DIN 48810)
2 Ableiter VA, NHVA bzw. VM	ca. 1 bis 1,5kV	5 bis 10kA (8/20)
3 SF-Protector LX-Protector NSM	ca. 1kV	2,5kA (8/20)
4 Minimodul MM-NS	ca. 1kV	2,5kA (8/20)

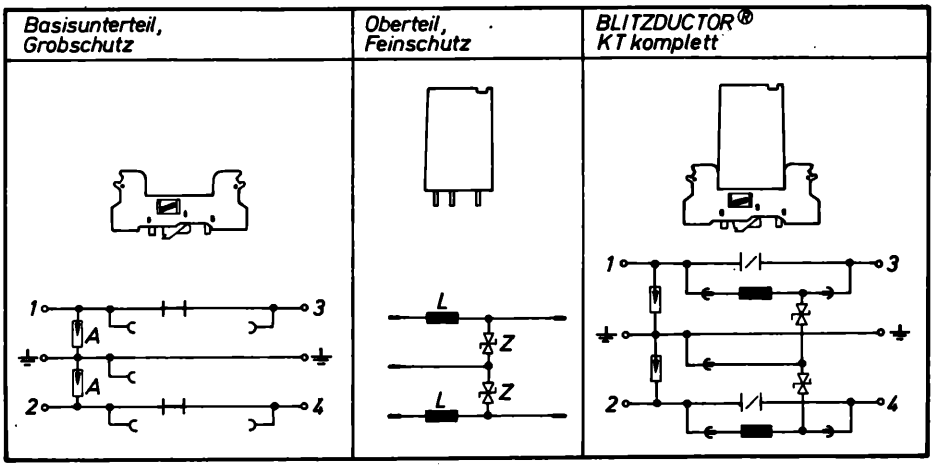


Bild 19. Teile des BLITZDUCTOR® KT am Beispiel der Schaltung der Type ALE

Bild 8 gezeigt, einbezogen werden) zwischen BSZ 0 und BSZ 1,
- durch eine Raumschirmung nach Bild 10 [6] in der gewünschten Qualität des Schirmfaktors nach Bild 11 [6] zwischen BSZ 1 und BSZ 2,
- durch eine Geräteschirmung zwischen BSZ 2 und BSZ 3

sowie auf der Realisierung des Blitzschutz-Potentialausgleiches und der Erdung,
- durch den Anschluß aller von der BSZ 0 in die BSZ 1 eintretenden, erdverlegten, metallenen Installationen, wie Wasser- und Gasrohre und Kabelmäntel an die Potentialausgleichsschiene (bzw. Erdungsringleiter nach DIN VDE 0800 Teil 2, Bild 12) direkt und die isolierten, unter Betriebsspannung stehenden Leitungen über Ableiter indirekt, wobei hier damit zu rechnen ist, daß die aus der BSZ 0 kommenden Installationen und Leitungen erhebliche Teilblitzströme führen, die auch über die Ableiter fließen und die deshalb als hochleistungsfähige Blitzstromableiter zu bemessen sind (Beispiel in Bild 13),
- durch den Anschluß der Potentialausgleichsschiene an die Erdungsanlage direkt oder über eine Trennfunkenstrecke auch indirekt, wenn es sich z. B. um eine solche mit kathodischem Schutzpotential handelt (Beispiel Bild 14),
- durch den Anschluß der an der Peripherie des geschützten Volumens über Erdniveau verlegten, metallenen Installationen und Zuleitungen mit Hilfe von örtlichen Potentialausgleichsschienen an den Gebäudeschirm, wobei beim Einsatz von Ableitern darauf zu achten ist, ob die anzuschließenden Leitungen und Geräte direkten Blitzeinschlägen ausgesetzt sind (wie z. B. der Windmesser in Bild 8, der in die BSZ 0 hineinragt), also mit Blitzstromableitern beschaltet werden müssen, oder ob sie nicht direkt getroffen werden können (wie z. B. der Motor auf dem Dach in Bild 8 bzw. die Kamera an der Wand in der BSZ 0/E), bei denen der Einsatz von leistungsschwächeren Überspannungsableitern (Bild 15) ausreicht,
- durch die Verbindung der einzelnen Schirme untereinander und mit den inneren metallenen Installationen (Bild 16) [7],
- durch die Schaffung einer möglichst eng vermaschten, niederohmigen Potentialausgleichsanlage, die das Referenzpotential der Erdungsanlage hat und ein schutzzonenübergreifendes, niederinduktives Bezugssystem mit einer Vielzahl magnetischer Kurzschlußschleifen bildet, das ein Auseinandertriften der Referenz-Potentiale in den einzelnen Blitz-Schutzzonen verhindert (siehe auch DIN VDE 0800 Teil 1 und DIN VDE 0845 Teil 1).

Ableiter an den Grenzflächen zwischen den BSZ 0 und BSZ 1, die Blitzströme oder erhebliche Teilblitzströme ableiten müssen, werden, wie schon oben erwähnt, Blitzstromableiter genannt. Ableiter, die an den Grenzflächen zwischen BSZ 0/E und BSZ 1 sowie an den nachfolgenden Schutzzonen schwächere Ströme ableiten müssen, werden Überspannungsableiter genannt. Die Auswahl der geeigneten Ableiter wird durch die Einteilung der Ableiter nach Anforderungsklassen erleichtert (Tafel 4).

An Ableiter werden folgende Anforderungen gestellt:
- definiertes Stoßstrom-Ableitvermögen
- definierter Spannungsschutzpegel, der sich aus der Isolationskoordination ergibt und immer unter dem jeweiligen Isolationspegel des zu schützenden Anlagenabschnittes gemäß der Überspannungskategorie nach IEC-Publikation 664 [8] bzw. DIN VDE 0110 liegen muß (Bild 17).
- Löschvermögen des Folgestromes
- ausreichend niedrige Einfügungsdämpfung für die Nutzsignale (entsprechend des Frequenzbereiches der zu schützenden informationstechnischen Anlage, z. B. Grobschutzgeräte für koaxiale Systeme mit Einfügungsdämpfungswerten unter 0,3 dB bei Frequenzen bis 1,3 GHz).

Für informationstechnische Netze wurden spezielle Schutzvierpole, sogenannte BLITZDUCTOR®en, entwickelt, die sowohl den Grobschutz zur Blitzstromableitung als auch den Feinschutz zur Absenkung des Schutzpegels realisieren (Beispiel in Bild 18, Prinzipschaltung siehe Bild 19).

Die Realisierung des Blitzschutzes und des Schutzes gegen Überspannungen aus Starkstromanlagen als umfassende EMV-Maßnahme für elektronische Anlagen gliedert sich in verschiedene Projektphasen (Tafel 5).

5. Prüfung für Blitzschutz- und Überspannungsschutzsysteme

Blitzschutzanlagen sind nach DIN VDE 0185 Teil 1 nach der Fertigstellung zu prüfen. Die Prüfung bestehender Blitzschutzanlagen kann aufgrund von Verordnungen zuständiger Aufsichtsbehörden, von Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften vorgeschrieben sein oder nach den Empfehlungen der Sachversicherer sowie im Auftrag des Betreibers durchgeführt werden. Tafel 6 [9] enthält eine Zusammenstellung der Prüffristen für Blitzschutz- und Überspannungsschutzsysteme.

Literatur

[1] *Nowak, K.*: Das Überspannungsschutz-System. de/der elektromeister + deutsches elektrohandwerk (1990) 8, S. 512–525

[2] *Hasse, P.*: Überspannungsschutz von Niederspannungsanlagen – Einsatz elektronischer Geräte auch bei direkten Blitzeinschlägen. Köln: Verlag TÜV Theinland 1987

[3] Württembergische Feuerversicherung, Stuttgart: Blitzschäden an elektronischen Geräten verdoppelt. Protector, Zürich, Mai 1988

[4] *Hasse, P.; Wiesinger, J.*: Handbuch für Blitzschutz und Erdung. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Pflaum Verlag KG, München/VDE-Verlag GmbH, Berlin–Offenbach, 1989

[5] *Hasse, P.*: Überspannungsschutz von Niederspannungsanlagen – Einsatz elektronischer Geräte auch bei direkten Blitzeinschlägen. Elektrotechnik, Schweiz, Hefte 12/88; 1/89; 2/89

[6] VG 96 907 Teil 2/12.86: Schutz gegen Nuklear-Elektromagnetischen Impuls (NEMP) und Blitzschlag – Konstruktionsmaßnahmen und Schutzeinrichtungen, Besonderheiten für verschiedene Anwendungen. Köln: Beuth Verlag GmbH

[7] *Lang, U.; Wiesinger, J.*: Eine Methode des Blitzschutzes für nachrichtentechnische Anlagen. de/der elektromeister + deutsches elektrohandwerk (1990) 11, S. 825–831

[8] International Electrotechnical Commssion: IEC-Report, Publication 664/1980. Insulation co-ordination within lowvoltage systems including clearances and creepage distances for equipment. Offenbach, VDE-Verlag

[9] *Nowak, K.*: Konsequenzen für den Überspannungsschutz. de/der elektromeister + deutsches elektrohandwerk, (1990) 12, S. 906–914

EA 6191

Dokumentation

Pschunder, Th.
Überspannungsschutz
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990)11, S. 405–408, 13 Bilder, 2 Tafeln, 4 Lit.
Überspannungen stellen eine zunehmende Bedrohung für elektrische/elektronische Anlagen dar. Schadensstatistiken weisen eine steigende Tendenz auf. Der Nachteil der zunehmenden Empfindlichkeit elektronischer Bauelemente und der damit verbundenen Gefährdung durch Überspannungen kann mit einem Überspannungskonzept begrenzt werden. Ursachen für das Entstehen von Überspannungen sind die LEMP, SEMP, ESD oder NEMP.

Adler, G.; Franke, K.
Berücksichtigung sicherheitstechnischer Forderungen bei der Zuverlässigkeitsbewertung in Chemieanlagen
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990)11, S. 409–412, 10 Bilder, 9 Lit.
Die Sicherheitstechnischen Anforderungen, die an die Funktion komplexer chemischer Großanlagen gestellt werden, sind im letzten Jahrzehnt erheblich gestiegen. Eine durchgehende Koordinierung der sicherheitstechnischen Maßnahmen in allen am Gesamtprozeß beteiligten Teilsystemen ist dringender denn je.
Es wird eine Gradierungsmethode vorgeschlagen, die aus einer Zuverlässigkeits- und einer Risikogradierung besteht.

Junghans, H.
Nutzung des elektrischen Feldes von Starkstrom-Freileitungen für die Entwicklung eines Spannungswarngerätes
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 11, S. 413–417, 7 Bilder, 4 Lit.
Unter dem Gesichtspunkt der Nutzung des elektrischen 50-Hz-Feldes von Starkstrom-Freileitungen für die Warnsignalgewinnung von Spannungswarngeräten erfolgte im Rahmen einer Dissertation vom Verfasser des Beitrages die Bewertung feldbeeinflussender und signalverfälschender Faktoren auf die Aussagesicherheit bzw. Zuverlässigkeit derartiger sicherheitstechnischer Mittel. Im Beitrag werden Ergebnisse dieser Arbeit vorgestellt, Problemschwerpunkte der Weiterführung aufgeworfen und Lösungsvarianten aufgezeigt.

Jahn, M.; Junghans, H.
Experimentelle Untersuchungen zur Warnsignalgewinnung eines Spannungswarngerätes unter Einsatzbedingungen
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 11, S. 417–420, 6 Bilder, 4 Gln., 9 Lit.
Recherchierte Wirkprinzipien von Spannungswarngeräten wurden mittels experimenteller Untersuchungen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit bei Arbeiten mit freizügig ortsveränderlichen Arbeitsmaschinen in der Nähe von Starkstrom-Freileitungen überprüft. Im Beitrag werden die Versuchsbedingungen beschrieben und Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen zur Warnsignalgewinnung aus dem elektrischen Wechselfeld der Elektroenergieanlage vorgestellt.

Kröber, T.; Winkler, H.; Sperling, K.
Elektronisches Warngerät für mobile Arbeitsmaschinen gegen gefährliche Berührungen mit spannungsführenden Leiterseilen
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 11, S. 421–425, 9 Bilder, 5 Lit.
Die Autoren verfolgen mit diesem Artikel das Ziel, ihre bisherigen Bemühungen zur Lösung dieser Problematik zur Diskussion zu stellen und die Entwicklung eines sicher wirkenden, technisch zuverlässigen und möglichst automatisch arbeitenden, robust aufgebauten, möglichst universell einsetzbaren Warngerätes anzustreben, welches ökonomisch günstig hergestellt werden kann.

Kosel, Th.; Unbekannt, L.; Winkler, H.
Untersuchungen zur Erkennbarkeit von Freileitungssystemen mittels Infrarot-Meßtechnik
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 11, S. 427–428, 4 Bilder, 1 Tafel, 4 Gln., 2 Lit.
Seit mehreren Jahren besteht im internationalen Maßstab Bedarf an Geräten, die zuverlässig und betriebssicher die Anwesenheit von spannungsführenden Leitern insbesondere Freileitungen registrieren. Die Messungen mit einem Wärmebildgerät zeigen die prinzipielle Nachweisbarkeit von Freileitungen über ihre Infrarotstrahlung.

Haas, H. U.
Der VS-Schutz – ein neues Schutzkonzept für Mittelspannungsschaltanlagen
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 11, S. 428–430, 5 Bilder, 4 Lit.
Es wird eine Vollbereichssicherung auf der Basis des Multi-Schmelzleitersystems und der Erwärmungszone, wie sie von der SIBA Sicherungen-Bau GmbH angeboten werden, vorgestellt. Sie übernimmt den wirksamen Schutz von Transformatoren gegen Überlast von Verbraucher und aus Transformatordefekten.

Hasse, P.; Naumann, W.
EMV-Blitzschutzkonzept für Niederspannungs- und Automatisierungsanlagen
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 11, S. 432–439, 19 Bilder, 6 Tafeln, 9 Lit.
Alle Bereiche der Wirtschaft sind heute in hohem Maße von der elektronischen Datentechnik abhängig. Zu den häufigsten Ausfallursachen solcher elektronischer Anlagen gehören Überspannungen, die den Signalfluß beeinflussen und elektronische Betriebsmittel zerstören können. Um ein technisch und wirtschaftlich ausgewogenes Schutzkonzept zu finden, ist es notwendig, bereits in der Planungsphase die verschiedenen, am Objekt beteiligten Fachkräfte an der Erarbeitung eines EMV-gerechten Blitz- und Überspannungsschutzkonzeptes zu beteiligen.

ELEKTRIE

Verlag	Verlag Technik GmbH Oranienburger Straße 13/14, Postfach 201 O-1020 Berlin Bundesrepublik Deutschland Telefon: 28700, Telex: 0112228 techn. dd Telefax: 2870259
Geschäftsführer	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Verlagsleiter	
Zeitschriften	Dipl.-Ök. *Günter Fitzner*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Chefredakteur (Telefon: 2870345); Dipl.-Ing. *Fritz Heinecke*, Redakteur (Telefon: 2870343); *Roland Lüders*, red. Mitarbeiter (Telefon: 2870344)
Gestaltung	*Ursula Maria Lange*
Anzeigenannahme	Anzeigenabteilung Anschrift siehe Verlag Telefon: 2870291 Telefax: 2870254 Anzeigenpreisliste 1
Gesamtherstellung	Leipziger Verlags- und Druckereigesellschaft mbH,
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
An (EDV)	6730
Bezugspreise	Einzelheft 8,– DM, Abonnementpreis 24,– DM vierteljährlich incl. gesetzliche Mehrwertsteuer Der Abonnementpreis erhöht sich für das Ausland um die Zustellgebühren. Das Abonnement verlängert sich automatisch um den bestellten Zeitraum, wenn es nicht 6 Wochen vor Ablauf der Frist bei der Bestelladresse schriftlich gekündigt wird.
Bezugsmöglichkeiten	Bestellungen sind an den Verlag zu richten. Abonnementsbestellungen für die westlichen Länder der BRD und das westliche Ausland sind zu richten an: Inter abo · Betreuungs-GmbH, Wendenstraße 26, Postfach 103245, W-2000 Hamburg 1, Bundesrepublik Deutschland Interessenten in Österreich übergeben ihre Bestellung der Firma Hartleben, Dr. *Rob*, Buchhandlungen Schwarzenbergstraße 6, A-1015 Wien

Für unsere neuen Leser:

- **Jahresabo- ein Vorteil, den Sie nutzen sollten**
- **Wir senden jedes Heft direkt und schnell an Sie**
- **Sie nutzen den Zeit- und Preisvorteil**

Jahresabonnement (nur für Leser in den westlichen Ländern der Bundesrepublik Deutschland), zwölf Hefte ELEKTRIE zum Preis von 96,00 DM.

Verlag Technik GmbH

Redaktion Elektrie

Oranienburger Straße 13/14
O - 1020 Berlin

Bitte liefern Sie ☐ ab sofort ☐ ab

Name: Telefon:

Straße: Tätigkeit:

PLZ/Ort: Datum/Unterschrift:

Die Abonnementbestellung kann innerhalb von 10 Tagen schriftlich widerrufen werden. Es genügt während dieser Frist auch eine Mitteilung an die Verlag Technik GmbH. Diesen Hinweis habe ich zur Kenntnis genommen und bestätige dieses durch meine 2. Unterschrift.

Datum Unterschrift

ABB Antriebstechnik – der Schlüssel zum erfolgreichen Maschinen- und Anlagenbau!

ABB ist ein internationaler Elektro-Konzern mit 220 000 Mitarbeitern in 140 Ländern. In der Sparte Industrie und Automation bilden elektrische Antriebe einen wichtigen Schwerpunkt.

Elektrische Antriebe von ABB Drives sind weltweit in über 250 000 Maschinen und Anlagen im Einsatz.

ABB Drives liefert für jede gestellte Antriebsaufgabe die passende Lösung. Sei es bei der Ausrüstung neuer Maschinen/Anlagen oder der Modernisierung bestehender Einrichtungen.

Unser Programm umfaßt Gleichstrom-, Drehstrom- und Servoantriebe in einem Leistungsbereich von 0,5 kW bis 25 MW:

- ○ Gleichstromantriebe mit Stromrichtern in analoger oder digitaler Technik
- ○ Drehstromantriebe mit digitalen Puls- oder Stromzwischenkreis-Umrichtern
- ○ Servoantriebe in Gleichstrom- oder bürstenloser Technik.

ABB Drives-Antriebe erhöhen die Wirtschaftlichkeit, helfen Energie sparen, verbessern die Produktqualität, schonen Material und Maschine/Anlage, minimieren den Wartungsaufwand.

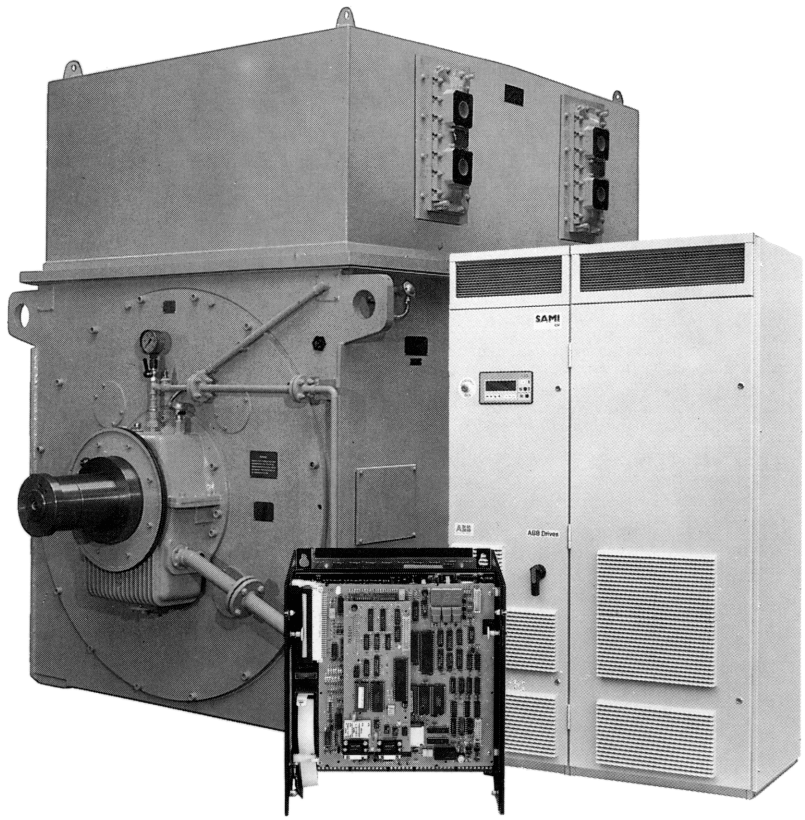
Kundennähe ist für *ABB Drives* eine Selbstverständlichkeit. Unsere Mitarbeiter von der Niederlassung Berlin betreuen den Markt Mecklenburg, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen:

– mit individueller Beratung und Unterstützung vor Ort

– mit kurzen Bearbeitungszeiten bei der Projektierung, Angebotserstellung und -abwicklung.

ABB Drives ist der starke, kompetente Partner für Industrie, Ingenieur-Büros, Forschung und Lehre.

Nutzen Sie unser Angebot, fordern Sie weitere Informationen an:



Ich interessiere mich für Antriebe von ABB Drives. Senden Sie mir bitte Informationen über

☐ Gleichstromantriebe ☐ Drehstromantriebe ☐ Servoantriebe

☐ Ich wünsche ein Beratungsgespräch, bitte setzen Sie sich mit mir in Verbindung.

Name: _____ E

Firma: _____

Abt.: _____ Funktion: _____

Straße: _____

Ort: _____ Tel.: _____

Anwendung: _____

ABB Antriebstechnik GmbH
Niederlassung Berlin
Hans-Beimler-Straße 91–94
Telefon 0 03 72 / 4 37 17 34

DDR-1017 Berlin

ASEA BROWN BOVERI

D ANT 6026 90 D

ISSN 0013–5399
ELEKTRIE · Berlin 44 (1990) 11 · S. 401–440

8730 11 2177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8612 37001 0136 PF 21

Klöckner MOELLER

Jetzt auch in Berlin, Chemnitz, Dresden, Erfurt und Leipzig.

Auf Sicherheit schalten

Zum Beispiel PKZ: drei Buchstaben für Leistung. Diese Typenbezeichnung von Klöckner-Moeller ist zum Oberbegriff für Motorschutzschalter überhaupt geworden. Technische Höchstleistungen auch im Detail – das macht seit mehr als 90 Jahren den Erfolg unserer Produkte aus. Denn sicher schalten und zuverlässig schützen sind Voraussetzungen für ein langes Maschinenleben.
Klöckner-Moeller ist der gefragte Partner in der Elektrotechnik – weltweit. In mehr als 70 Ländern leisten unsere rund 400 Vertriebsbüros Beratung und Service vor Ort. Jetzt auch in ganz Deutschland.

Befehlen und Melden	Energie verteilen
Auto-matisieren	Schalten und Schützen

Besuchen Sie uns:
belektro '90, Berlin
28.11.–1.12.90
Halle 9b, Stand 9b.01

☒ Ja, bitte senden Sie mir Ihre Vertriebsadressen und weitere Informationen über Klöckner-Moeller

90/41Kc

Vor-/Zuname

Firma

ehemalige Firmenbezeichnung

Branche

Straße

Ort

Klöckner-Moeller · Postfach 1880 · D-5300 Bonn 1